

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut Environmentálního inženýrství

Diplomová práce

Bioplynové stanice a jejich efektivita

Effectivity of the Biogas Units

Autor:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Simeon Slávik
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Simeon Slávik**
Studijní program: **N2102 Nerostné suroviny**
Studijní obor: **3904T029 Minerální biotechnologie**
Téma: **Bioplynové stanice a jejich efektivita**
Effectivity of the Biogas Units

Zásady pro vypracování:

Proveďte návrh možností intenzifikace produkce bioplynu a jeho využití v bioplynové stanici.
Průměrná produkce bioplynové stanice je max. 10 000 m³ bioplynu za den.
Bioplynová stanice bude napojena na energetickou centrálu s vyžitím bioplynu pro produkci tepla a elektrické energie.

Práce bude obsahovat:

1. Rešeršní práce na téma intenzifikace produkce bioplynu
2. Výpočet plynu na bázi bioplyn, případě směsi bioplyn + zemní plyn pro různé složení bioplynu.
3. Návrhy možností intenzifikace produkce, včetně dopadů.
4. Celkové technologické schéma bioplynové stanice včetně energetické centrály.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SCHULZ, H., EDER, B. *Bioplyn v praxi*. Nakladatelství HEL, Ostrava 2004.
- [2] KRBK, J., POLESNÝ, B. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. PC-DIR Real, s.r.o. Brno 1999.
- [3] Odborná firemní literatura

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012

prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, C.Sc., dr.h.c.
děkan fakulty

AUTORSKÉ PROHLÁŠENÍ

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne

.....
Bc. Simeon Slávik

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě 2012

.....
Bc. Simeon Slávik

Poděkování

Poděkovat bych chtěl více lidem než jedné osobě. V první řadě paní prof. Ing. Dagmar Juchelkové, Ph. D za možnost dělat diplomovou práci pod jejím odborným dohledem. Dále bych chtěl poděkovat celému laboratornímu týmu v laboratoři VŠB – TUO, Institutu geologického inženýrství a Institutu environmentálního inženýrství, jmenovitě paní Bc. Sýkorové a paní Ing. Bielešové. Dále bych chtěl poděkovat firmě GasControl za doporučení ke spolupráci s firmou Fermgas, která nám zprostředkovala návštěvu bioplynových stanic s možností odebrání vzorků pro celý experiment diplomové práce. A v poslední řadě při řešení diplomové práce jsem použil instrumentální techniku pořízenou z projektové podpory ENET - Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie, registrační číslo: CZ.1.05/2.1.00/03. Kterému také moc děkuji.

Anotace

V teoretické části diplomové práce popisují vývoj podílu energetických zdrojů z BPS v obnovitelných zdrojích energie v České republice. Srovnávám technologie bioplynových stanic a možnosti využití bioplynu v České republice a Evropské unii. Jsou popsány principy anaerobní digesce a faktory, které ji rozhodujícím způsobem ovlivňují. Experimentální část diplomové práce je zaměřena na zvýšení účinnosti bioplynu, kterou lze docílit lepším rozložením majoritních složek biomasy biochemickou metodou. Tato metoda využívá anaerobní houby, které uvolňují enzymy umožňující rozklad ligninu. Tím se zpřístupňují místa anaerobním bakteriím, které se zúčastňují anaerobní digesce.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje energie, Bioplynová stanice, anaerobní digesce, bioplyn, anaerobní houby

Summary

The development of biogas technology as a part of renewable energy sources in the Czech Republic is described in theoretical part of thesis. I compare the technology of biogas plants and possible utilization of biogas in the Czech Republic and in the European Union. The principles and factor influenced anaerobic digestion are described. The experimental part of thesis is focused on increasing the effectiveness of biogas production, which can be achieved through better decomposition of the major components of biomass with utilization of biochemical method. Anaerobic fungi produce enzymes that lead to a better decomposition of the major components of biomass. This will make the place of anaerobic bacteria which are taking part in anaerobic digestion.

Keywords:

Renewable energy sources, Biogas plants, anaerobic digestion, biogas, anaerobic fungi

Obsah

1. Úvod a cíl práce.....	1
2. Zdroje energie	4
2.1. Vstupní suroviny	5
2.2. Energetické využití biomasy.....	6
2.3. Indikátory stavu procesu	9
2.4. Faktory ovlivňující průběh anaerobní digesce	10
3. Bioplynové stanice (BPS).....	12
3.1. BPS v zemích EU	12
3.1.1. Německo	13
3.1.2. Švédsko	14
3.1.3. Švýcarsko.....	14
3.1.4. Rakousko	15
3.2. BPS v ČR.....	15
3.3. Technologie BPS	16
3.4. Technologické jednotky bioplynové stanice.....	17
3.4.1. Reaktor.....	18
3.4.2. Kogenerační jednotka	21
3.4.3. Odsíření bioplynu	22
4. Výstupní produkty	23
4.1. Bioplyn.....	23
4.1.1. Vznik bioplynu	24
4.1.2. Bakterie pro tvorbu bioplynu	27
4.2. Digestát	29
4.3. Možnosti využití tepla	30
4.3.1. Sušení.....	30
5. Praktická část.....	31
5.1. Majoritní složky biomasy	31
5.1.1. Celulóza	32
5.1.2. Lignin.....	32
5.1.3. Hemicelulóza	33

5.2.	Anaerobní a Aerobní houby.....	34
5.2.1.	Anaerobní houby.....	34
5.2.2.	Použití anaerobních hub.....	36
5.3.	Experimentální fermentační zařízení	40
5.1.	Vstupní a výstupní hodnoty	48
5.1.1.	Vyhodnocení a zpracování naměřených dat	48
5.1.2.	Prováděné rozbor, stanovované veličiny	50
6.	Závěr	69
	Literatura	71
	Seznam použitých obrázků	80
	Seznam použitých tabulek.....	82
	Seznam použitých grafů	83
	Seznam použitých příloh	85

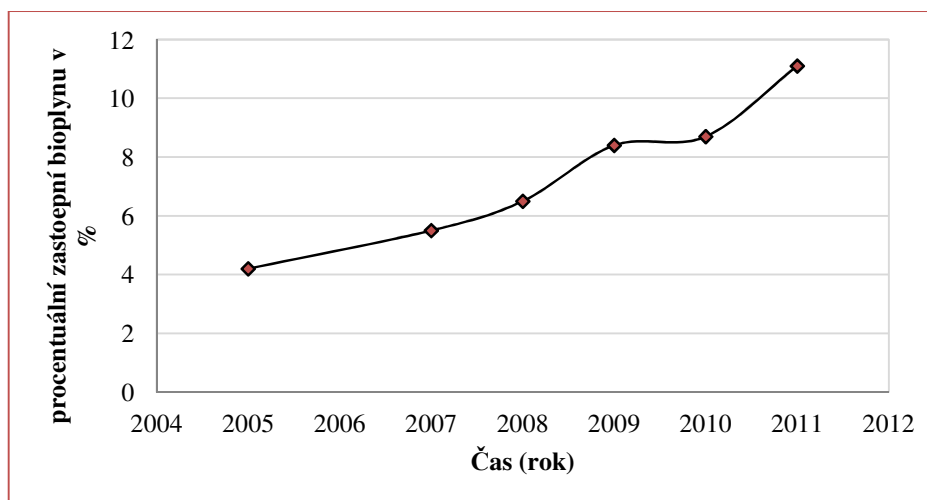
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

A. H.	aerobní houby
AN. H.	anaerobní houby
BP	bioplyn
BPS	bioplynová stanice
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad
CZT	centrální zásobování teplem
ČOV	čistírna odpadních vod
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
OZE	obnovitelné zdroje energie
ERÚ	energetický regulační úřad
EEG	german renewable energy act
KF8	laboratorní označení pro anaerobní houby (<i>anaeromyces mucronatus</i>)
TOC	celkový organický uhlík (total organic carbon)
DOC	rozpuštěný organický uhlík (dissolved organic carbon)
SEI	státní energetické inspekce
pH	kyselost
CH₄	metan
CO₂	oxid uhličitý
H₂	vodík

mil.	milión
tis.	tisíc
PJ	peta Joule
kPa	kilo Pascal
kWe	kilowatt (elektrické energie)
W	watt
m	metr
m³	metr krychlový
° C	stupeň Celsiův
t	tuna
ha.	hektar

1. Úvod a cíl práce

Tato diplomová práce je zaměřena do oblasti energetiky - navýšení podílu energie vyrobené z obnovitelných zdrojů v České republice (dále jen ČR). V rámci požadavků EU se naše republika zavázala k dosažení indikativního cíle, a to zajištění 8% hrubé výroby energie do roku 2010 (směrnice 2001/77/EC). Od roku 2009 vzrostl procentuální podíl na 6,8 % hrubé výroby energie z OZE. V roce 2010 byl parametr hrubé výroby z OZE splněn a dokonce překonán o 0,3 %. Na grafu (č. 1.1) je zřejmý procentuální podíl produkce bioplynu v jednotlivých zdrojích OZE, který v roce 2010 dosáhl více než 11 %. Bioplynové stanice jsou využívány nejen k produkci bioplynu, ale většinou také k likvidaci bioodpadů. Snahou bioplynových stanic je pro energetické využití dosažení maximálního využití vstupních surovin, což je ovlivněno možnostmi jejich mikrobiálního rozkladu [1, 2].



Graf č. 1.1 – procentuální zastoupení bioplynu v OZE [1, 2]

Mým cílem byla snaha využití biomasy, jakožto alternativního zdroje energie. Energetické využití biomasy přináší řadu problémů v souvislosti s optimalizací technologických procesů anaerobní digesce. Průběh anaerobní digesce závisí na složení substrátu, který ovlivňuje činnost anaerobních bakterií. Z tohoto důvodu jsem hledal možnosti, jak řešit tuto problematiku. Řešení mohou být různá a to: [3]

- Metoda chemické hydrolýzy popisuje působení alkálií, kyselin či oxidačních činidel, které vedou k rozložení složitých organických látek.
- Metoda biochemická za pomoci bioaugmentace. Pod názvem bioaugmentace se rozumí cílené vnesení mikrobiální populace „tzv, bioaugmentatu“ do prostředí. Jako bioaugmentát jsem použil anaerobní houby [3].
- Metoda biochemická a to za pomoci dvoustupňové hydrolýzy. Tato metoda spočívá v předúpravě vstupního substrátu.

Nejzajímavější metodou se zdála být biochemická metoda za pomoci anaerobních hub rodu *anaeromyces mucronatus*. Anaerobní houby produkují enzymy, které umožňují využití i těch složek substrátu, které bakterie hydrolyzovat nedokáží [3]. Kromě těchto enzymů disponují anaerobní houby také schopností mechanicky rozrušovat rostlinná pletiva obsahující lignin, celulózu a hemicelulózu.

Cílem diplomové práce bylo ověření možnosti využití anaerobních hub ke zvýšení výtěžnosti metanu v bioplynu.

- Provedení literaturní rešerše
- Zajištění vsazky do reaktoru ze třech bioplynových stanic a následnou aplikaci anaerobních hub v laboratorním reaktoru
- Analýza vsazky a výsledného digestátu (obsah rozpuštěných a nerozpuštěných látek organické sušiny, pH, formy dusíku a majoritní složky: lignin, celulóza a hemicelulóza)
- Analýza bioplynu během anaerobní digesce
- Vyhodnocení a zpracování naměřených dat
- Závěr

2. Zdroje energie

V současné době je v politice energetiky prosazován tzv. „vyrovnaný energetický mix“, neboli jednotlivé OZE jsou limitovány jak ekonomickými ukazateli, tak strategickým zaměřením [4]. Pro mnohé země znamenají OZE vytvoření domácí energetické nezávislosti. Fosilní paliva, ať už se jedná o uhlí, zemní plyn či ropu, jsou koncentrována pouze v několika málo zemích Blízkého východu. Časté výkyvy v dodávkách jsou zapříčiněny politickou či náboženskou situací v zemi, a proto se tyto oblasti s fosilními zdroji jeví jako nestabilní v odběratelských ekonomikách. Tyto situace mají za následek značný nárůst cen. Mezi výraznými pozitivními hledisky využívání těchto přírodních zdrojů můžeme mimo jiné zmínit například oživení zemědělské sféry, což vede k navýšení pracovních příležitostí a také nárůstu celkové životní úrovně v regionu [4, 5, 6].

Mezi obnovitelné zdroje řadíme:

- Energie vody (vodní elektrárny, ale také energie z přílivu a odlivu)
- Energie geotermální (energie z jádra země)
- Energie z biomasy (chemické a biologické procesy)
- Energie větrná (větrné turbíny)
- Energie slunečního záření (solární panely)

2.1. Vstupní suroviny

Biomasa je považována za hmotu organického původu, jedná se o soubor látek tvořících se z těl všech organismů, jak části rostlin, hub, tak i živočichů [7]. Nejvyužívanější zdroj pro výrobu energie nalézáme v zemědělském průmyslu. Z převážné většiny se jedná o exkrementy hospodářských zvířat a cíleně pěstované plodiny. Zbytková biomasa skrývá svůj potenciál, který by se dal v budoucnu energeticky využít. Vzniká v potravinářském průmyslu nebo je součástí biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Biomasu podle vzniku rozdělujeme na [8].

- a) záměrně pěstovaná biomasa
- b) odpadní biomasa

Pro záměrně pěstovanou biomasu se vyčleňují oblasti, které leží mimo zemědělsky výhodná místa. Do této kategorie patří mírně svažité louky a místa ve vyšších nadmořských výškách [4]. Záměrně pěstovaná biomasa se využívá jako nejekonomičtější řešení pro většinu bioplynových stanic, které se zaměřují na odpadní biomasu v ČR.

Biomasa určená k energetickému a průmyslovému využití se dělí do tří skupin: [8]

- Jednoleté rostliny → řepka, konopí, len a taky alternativní olejnin
- Víceleté, vytrvalé rostliny → orobinec čínský, rákos obecný, křídlatka japonská
- Rychle rostoucí rostliny → topoly, vrby, olše

Odpadní biomasou rozumíme odpad z živočišné a rostlinné výroby nebo z lesní těžby. Lze ji optimálně využít pro provoz lokálního energetického zdroje. V podmínkách pro ČR jde především o využití biomasy z těchto zdrojů: [8]

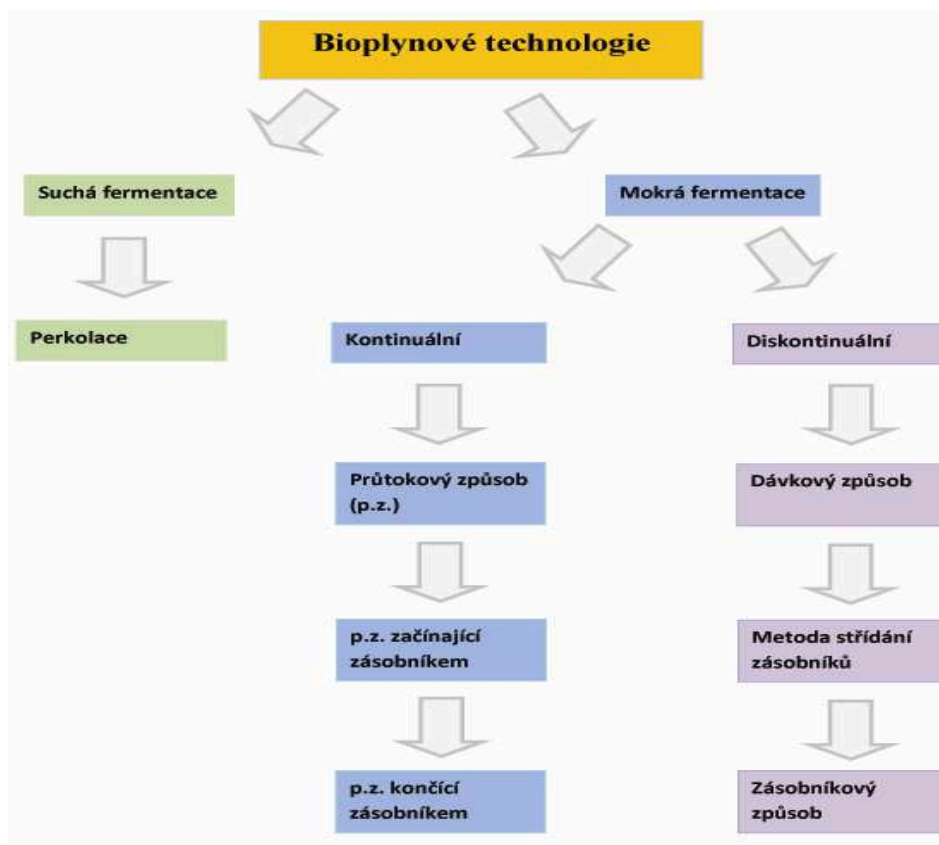
- Odpady z živočišné výroby
- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
- Lesní odpady
- Biologicky rozložitelné komunální odpady
- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob

2.2. Energetické využití biomasy

Pro energetické využití biomasy se využívají následující technologie: [7]

1. Termochemická přeměna (suché procesy) – spalování, pyrolýza, zplyňování
2. Biochemická přeměna – alkoholové kvašení, aerobní fermentace, anaerobní fermentace
3. Mechanicko – chemická přeměna - lisování olejů, esterifikace surových bio-olejů, výroba pevných paliv

Zejména termochemickou a biochemickou přeměnu můžeme zařadit do tzv. biochemických technologií, které se využívají v BPS. Dělení se nachází na obrázku (obr. č. 2.1).



Obr. č. 2.1 – bioplynové technologie [9]

Suchá fermentace je mnohem mladší proces než mokrá fermentace. Ze zásady se jedná o mezofilní anaerobní fermentaci, u které je ideální rozsah teplot 32 – 38 °C a pH se pohybuje kolem 6,5 – 7,5. Přestože se jedná o daleko mladší proces, tak některé typy již našly uplatnění v praxi.

Suchou fermentaci můžeme rozdělit podle obsahu sušiny substrátu na: [10]

- Suchý proces – obsah sušiny je 25 - 45%
- Vysokосуšinový proces – nad 45 %

Alternativě se nabízí možnost, rozdělit jí podle náročnosti na kontinuální a diskontinuální.

Kontinuální – jedná se o proces suché fermentace doprovázený vysokými investičními náklady a hlavně vysokou provozní náročností. Z pravidla jsou kontinuální procesy využity pro zpracování komunálních a tříděných odpadů [10].

Diskontinuální – „tzv. vsázkový proces“, který probíhá v několika reakčních komorách a meziskladech. Nadále se vyznačuje snadnou dopravou vsázky do reaktorů [11].

Mokrý fermentace je nejpoužívanější proces, který bývá nejčastěji prováděn ve velkoobjemových, vyhřívaných a hlavně mechanických reaktorech. Proces mokré fermentace lze rozčlenit na kontinuální nebo diskontinuální. V reaktorech dochází k oddělení cca 50% organické sušiny. Celková kapacita nádrží je dána množstvím a kvalitou materiálu uvnitř nádrže a dobou zdržení v reaktoru. Tyto parametry mají vliv na kvalitu bioplynu a výstupního materiálu [10].

2.3. Indikátory stavu procesu

Pro hodnocení průběhu anaerobní digesce je analyzována plynná složka, pevná složka (nerozpuštěné látky) a kapalná složka. Přehled veškerých sledovaných ukazatelů pro jednotlivá prostředí je uveden v tabulce č. 2.1 [12].

Tab. č. 2.1 - parametry sledované během procesu anaerobní digesce [12]

Druh rozboru	
Plynná fáze	<ul style="list-style-type: none">• množství produkovaného bioplynu,• složení bioplynu – obsah CH₄, CO₂, H₂, H₂S.
Kapalná fáze	<ul style="list-style-type: none">• pH• celková koncentrace mastných kyselin (jednotlivé mastné kyseliny)• kyselinová a zásadová neutralizační kapacita,• CHSK• celkový organický uhlík• rozpuštěné látky (RL při 105 °C – veškeré), anorganické rozpuštěné látky (RAS) při 550 °C, organické rozpuštěné látky (RL = RL-RAS)• oxidačně-redukční potenciál
Pevná fáze	<ul style="list-style-type: none">• obsah makroprvků (C, H, N, S, O) v sušině• sušina při 105 °C• organická sušina při 550 °C• obsah makrokomponentů (lignin, celulóza a hemicelulóza)• formy dusíku (N celk = NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺) a fosforu (PO₄⁻³)

2.4. Faktory ovlivňující průběh anaerobní digesce

Většina anaerobních procesů má své limitující faktory. Mezi základní sledované technologické parametry patří:

- teplota
- pH
- hodnota poměru CHSK/N/P
- poměr C/N

Průběh technologie anaerobní digesce může být negativně ovlivněn výskytem toxických a inhibujících látek.

Teplota

Je jeden z faktorů, který podmiňuje přítomnost mikroorganismů. V mé diplomové práci pracuji s mezofilními bakteriemi, které se nám pohybují v teplotním rozmezí od 35 °C do 39 °C [13, 14].

Hodnota pH

Tato hodnota ovlivňuje veškerý průběh anaerobní fermentace. Za optimální hodnoty acidobazické reakce pro vstupní materiál se považují 6,2 – 7,8. Během procesu se pH mění. Při dobrém průběhu se hodnoty ustálí na neutrální hodnotě. Hodnota pH se v praxi upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami [13, 14].

Poměr CHSK/N/P

Tento poměr CHSK/N/P by se měl pohybovat okolo 300/6,7/1, jelikož udržení tohoto procesu je důležité pro přírůstek biomasy. Krom tohoto poměru CHSK/N/P jsou neméně důležité tzv. stopové prvky. Které nám mohou zvyšovat produkci metanu. Tyto stopové prvky jsou např. Na, K, Ca, Se, Ni, Co atd. [13].

Poměr C/N

Je významnou hodnotou pro hodnocení materiálů pro anaerobní fermentaci. Optimální poměr C/N pro anaerobní digesci je 30/1. Dusíkaté látky mají negativní vliv na složení bioplynu. Jsou většinou obsažené ve zvířecích exkrementech, vyšší obsah uhlíku je v biomase rostlinného původu. Dosažení optimálního poměru se docílí vhodnou kombinací vstupních surovin. [13, 15].

Přítomnost toxických a inhibujících látek

Tyto látky jsou schopné omezit či zcela zastavit průběh anaerobní fermentace. Mezi tyto inhibující látky převážně patří mastné kyseliny a amoniak, jejichž tvorba je závislá na hodnotě pH [13].

3. Bioplynové stanice (BPS)

Využití biomasy jako zdroje paliva a energie je v praxi teprve krátce, ale přesto se toto odvětví rychle šíří a nachází uplatnění ve světě. V této kapitole jsem se zaměřil na porovnání bioplynových stanic v Evropě a v České republice a to z důvodu, že bioplynové stanice v Evropě mají delší tradici, z čehož vyplývá, že v ostatních zemích EU s nimi mají větší zkušenosti. V současnosti jsou BPS u nás na technologickém vzestupu.

3.1. BPS v zemích EU

Mnoho bioplynových stanic bylo za posledních pár let zmodernizováno a tato skutečnost by měla vést ke zvýšení ekologického stupně, který má nemalý význam pro evropské země. Státy jako Švédsko, Švýcarsko, Dánsko, Německo a Rakousko jsou proslulé využitím obnovitelných zdrojů energií. Z pohledu ochrany životního prostředí přinášejí alternativní zdroje energie značná pozitiva, zvyšování jejich produkce například vede k úspoře fosilních paliv a především ke snížení CO₂, jenž je hlavním plynem způsobujícím skleníkový efekt.

3.1.1. Německo

První velká zemědělská bioplynová stanice začala fungovat v roce 1950 [16]. BPS se u nás začaly šířit z důvodů vysokých cen ropy a možností výzkumů v odvětví alternativních zdrojů, ale hlavní příčina expanze BPS byla až díky tzv. „německému zákonu o obnovitelných zdrojích energie (EEG), který podporuje výstavbu bioplynových stanic pomocí alternativních fixních tarifů, které mají zabezpečovat garanci elektrické energie po dobu 20. let.“. Tato skutečnost vedla k neustále vzrůstajícímu trendu budování malých a středních zařízení což zapříčinilo, že se Německo řadí na první příčky v Evropě [9].

V roce 2009 agentura pro obnovitelné zdroje odhadovala, že zhruba 530. tis. ha. půdy bylo použito pro výrobu bioplynu, což odpovídá zhruba 5% celkové zemědělské půdy v Německu [17]. Tímto se výroba bioplynu stává skutečným a významným přídatným odvětvím vedle rostlinné a živočišné výroby, pevných biopaliv a bionafty. V důsledku změněných rámcových podmínek se zlepšily ekonomické rámcové podmínky výroby bioplynu v odpovídající kvalitě, což umožnilo jeho napojení do sítě zemního plynu. Ročně je do sítě napojeno 280 mil. Nm³ biometanu, což odpovídá 0,4 % spotřeby zemního plynu v Německu za rok 2009 [18].

3.1.2. Švédsko

V současnosti se ve Švédsku vyskytuje více než 200 míst vyrábějících bioplyn [19]. Bioplyn ve Švédsku má dlouhodobou tradici, již mnoho let je vyráběn v čistírnách odpadních vod a zejména v posledních 10-15 letech. V rostoucím počtu kogeneračních bioplynových stanic se využívají nejrůznější organické materiály a suroviny[14]. Současná produkce bioplynu je 5 PJ, což odpovídá 0,3% z celkové spotřeby energie. Z toho 10 % bioplynu se používá jako pohonné hmoty v autobusech a distribučních nákladních automobilech [19], nejvíce autobusů na bioplyn (62) jezdí v Linköpingu. Zbývající bioplyn se používá především na výrobu tepla nebo kombinovanou spotřebu tepla a elektřiny [20]. Bioplyn je ve Švédsku trvale osvobozen od daně v návaznosti na dodatek „EU Petroleum Directive“. Jelikož Švédsko bylo osvobozeno od daně za pohonné hmoty tak bioplynové palivo vychází téměř o 45% levněji než benzín. Z toho vyplývají další výhody, mezi něž například patří poukazy na nákup bioplynu či parkování na mnoha místech zdarma [20]. Potenciál produkce bioplynu se odhaduje na 50 PJ/rok, což je zhruba desetinásobek dosavadní produkce bioplynu [19].

3.1.3. Švýcarsko

Švýcarsko je malá země s vysokou hustotou osídlení (přibližně o jednu třetinu vyšší než v ČR). Již téměř deset let zde platí zákaz skládkování, problematika nakládání s odpady je velmi pečlivě plánována a využívají se ty nejvyspělejší technologie. S tím souvisí také nutné zpracování biologicky rozložitelných odpadů a budování např. bioplynových stanic. Ve Švýcarsku, podobně jak už bylo zmíněno ve Švédsku, používají upravený bioplyn jako pohonnou hmotu do motorových vozidel. Na metan zde jezdí celkem 520 aut, k dispozici mají 27 stanic. Výhodou zde je, že bioplyn není zatížen daní [21].

3.1.4. Rakousko

V Rakousku jsou spíše zřizovány malé bioplynové stanice [22]. Je zde v provozu okolo 100 bioplynových zařízení zpracovávajících nejen odpady z živočišné výroby, ale v poslední době také přebytky z travních hmot, odpady z domácností a mnoho dalších biologicky rozložitelných odpadů, které jsou jinak zátěží pro životní prostředí. Podíl vyrobené energie z obnovitelných zdrojů, činí 24 % [23, 24]. Bioenergie ze zemědělských plodin by měla vést k splnění cíle rakouské politiky a to zejména výroba bioplynu, která se stala rostoucím odvětvím v biomase. BPS jsou po ekonomické a technologické stránce neustále zdokonalovány, jelikož mají zaručený přísun dotací ze strany státu [24].

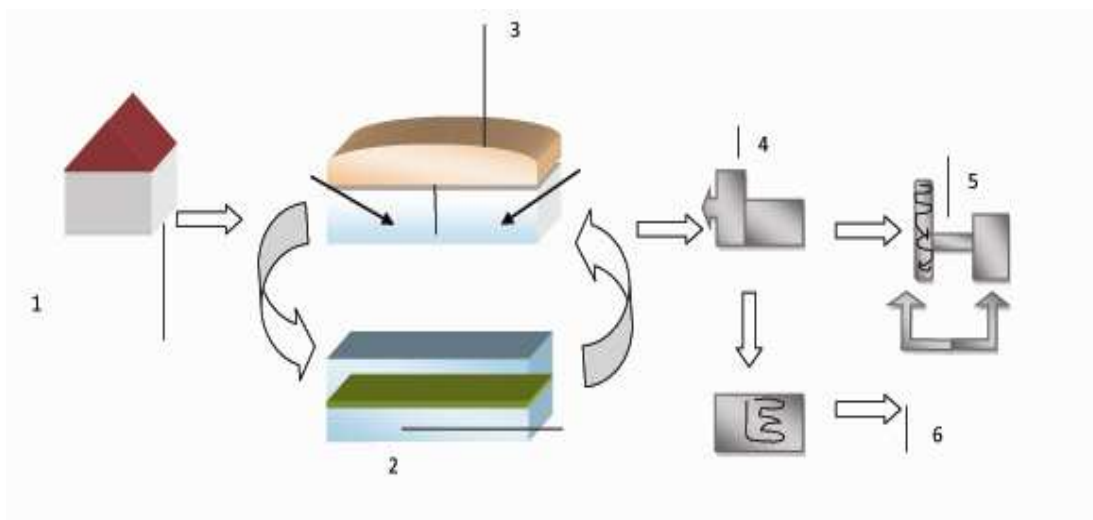
3.2. BPS v ČR

Česká republika se stala jedním ze států Evropské unie, který se zavázal, že podíl z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny dosáhne 8% do roku 2010. V roce 2010 byl nárůst celkového objemu 5851 GWh, což odpovídá 8,24 %. Z procentuálního zastoupení podílu zdrojů na OZE vyplývá, že počet bioplynových stanic vzrůstá [25, 26].

Bioplynových stanic je v současnosti v provozu kolem 60 a dalších 20 až 30 je před dokončením. Největší potenciál BPS je v zemědělství, ale lze předpokládat, že i využití biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) je dalším nadějným přístupem. Rozvoj BPS má i omezující faktory, mezi které patří zásadní problém relativně vysoké počáteční investice a náročné bezpečnostní požadavky, které vyplývají ze státní legislativy. Proto jsou pro provoz malých bioplynových stanic velkým omezením. Z těchto důvodů se hledají, silní investoři pro výstavbu nových BPS [8].

3.3. Technologie BPS

Bioplynové stanice (nadále jen BPS) jsou technologická zařízení (viz obr. č. 3.1), která využívají proces anaerobní fermentace ke zpracování veškerého odpadu, bioodpadu a popřípadě biologicky rozložitelného materiálu. Výroba bioplynu spočívá v procesu anaerobní digesce, u které dochází k zamezení přístupu vzduchu a přítomnosti anaerobních mikroorganismů, k rozkladu organických složek v substrátu a k uvolnění bioplynu, který lze dále využít ke spalování v kogenerační jednotce za současné produkce elektrické energie a tepla. Bioplyn je v ideálním případě tvořen metanem (CH_4) a oxidem uhličitým (CO_2). Vedlejším produktem anaerobní fermentace je fermentační zbytek (digestát), který lze částečně využít jako hnojivo nebo jako složka pro vytváření kompostu. Vyrobená elektrická energie je použita pro provoz technologií v BPS nebo je dodávána do elektrické sítě [27, 28, 29].



Obr. č. 3.1 – schéma bioplynové stanice

Popis: 1. Řídící budova 2. Nádrž s perkolátem 3. Reaktor 4. Kogenerační jednotka 5. Transformátor 6. Tepelná energie

3.4. Technologické jednotky bioplynové stanice

Bioplynová stanice (BPS) se skládá z homogenizační jímky jednoho nebo více reaktorů, plynojemů, uskladňovací nádrže, kogenerační jednotky, tepelného výměníku a rozvodu tepla. O velikosti bioplynové stanice rozhoduje množství zpracovaného odpadu. Podle vyhlášky č.341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, která řeší provoz zařízení biologického zpracování bioodpadů (nadále jen vyhláška 341/2008 Sb.) [30]. Lze rozdělit bioplynové stanice na malé zařízení do 10t nebo zařízení s vyšší kapacitou zpracovaného množství odpadu, které nazýváme BPS [4, 9]. Vznikem této vyhlášky bylo naplněno ustanovení § 33b odstavec 3 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů v platném znění [30].

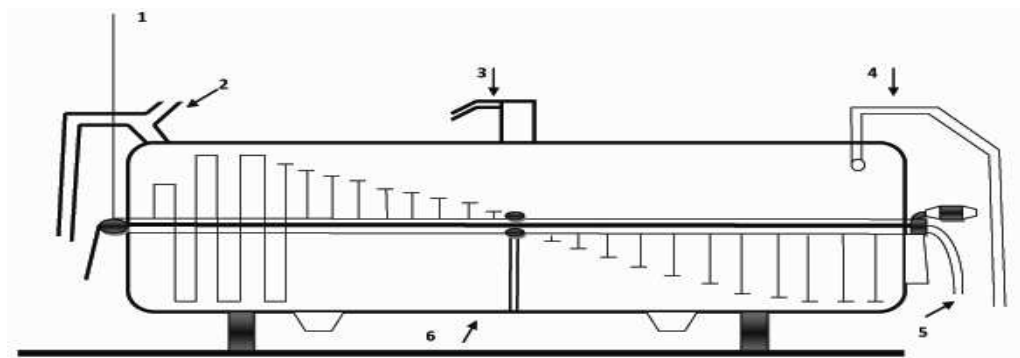
- malá zařízení jsou samostatné jednotky, které zpracovávají živočišný odpad a odpad ze stravovacích zařízení. Seznam veškerých složek nalezneme v příloze č. 1.B vyhlášky č. 341/2008 Sb. Cílovou složku bioplynu využívají k vyprodukování tepla a elektrické energie. Tyto produkty využívají k vlastnímu chodu farmy a tím snižují její náklady na provoz. Případný přebytek, pokud je možnost, prodávají do veřejné sítě [4, 9, 30].
- BPS o vyšší kapacitě. Ty na rozdíl od malých stanic zpracovávají odpad z několika farem. Jednou z mnoha výhod je profesně vyškolený personál, efektivnější využití finančních prostředků, nižší náklady na provoz bioplynové stanice a především vyšší kvalita anaerobně stabilizovaného odpadu [4, 9]. Veškerý seznam možných složek nalezneme v příloze č. 1.A vyhlášky č. 341/2008 Sb. [30]. Přílohy 1.A a 1.B jsou zařazeny na konci této diplomové práce.

3.4.1. Reaktor

Jedná se o nejdůležitější část bioplynové stanice. Reaktory (fermentory, nebo vyhnívací nádrže ČOV) se dělí na vertikální nebo horizontální.

Horizontální průtočný reaktor

Jedná se o tepelně izolovanou válcovou nádrž o průměru 2 – 3 m a objemu 50 – 100 m³ (viz obr. č. 3.2). Tyto horizontální reaktory často bývaly nádržemi pro pohonné hmoty. Nádrž je uložena na betonových podstavcích tak, aby její sklon byl v rozmezí 3 - 5 %. Výhodami horizontálního reaktoru jsou výkonná míchadla s energetickou úsporou, která zaručují bezproblémový chod i při maximálním objemu substrátu 100 m³. Nadále se objevuje fakt, že čerstvě přidaný materiál se neseskává v reaktoru s vyhnílym materiálem, což vede k lepším hygienizačním podmínkám. Konečnou fází je vznikající bioplyn hromadící se v horní části reaktoru, který je posléze odváděn do plynojemu. Jako hlavní nevýhoda se jeví zabránění velké plochy pro instalaci nádrže. Značně velké jsou energetické ztráty a hlavně neschopnost očkovat čerstvý substrát již vzniklou bakteriální florou [9, 31, 32].

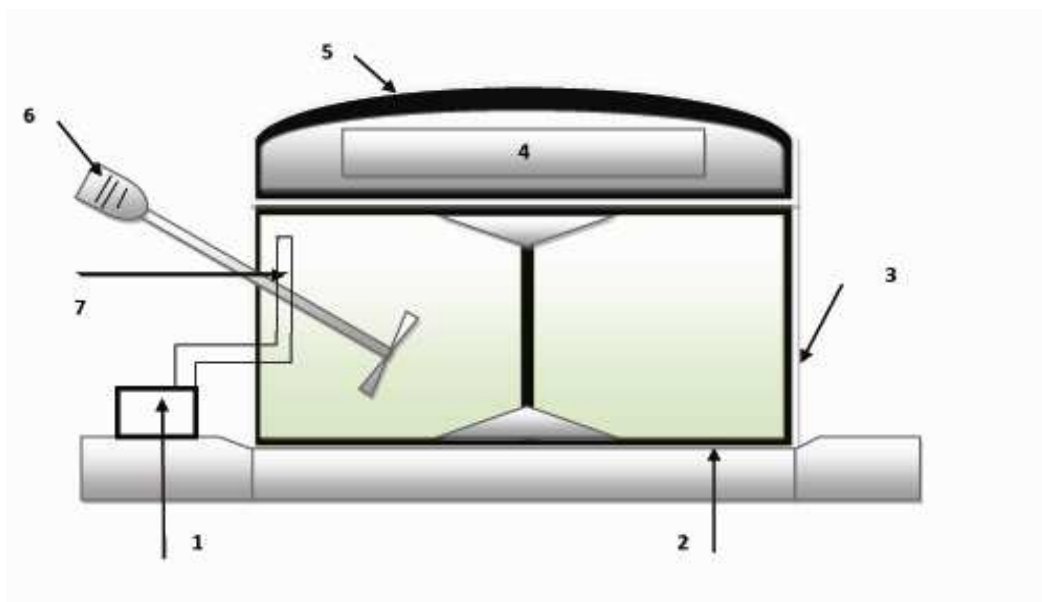


Obr. č. 3.2 – horizontální reaktor [33]

Popis: 1. Přívod teplé vody 2. Tepelné potrubí 3. Bioplyn 4. Přepad 5. Odpadní vody 6. Lapač písku

Vertikální reaktor

Bývá vyroben z betonu a mívá většinou kruhový průřez o průměru 8 – 18 m s hloubkou 3 – 6 m a objemem od 250 do 600 m³. Protože velikost není omezena, vyskytují se i s vyšším objemem (viz obr. č. 3.3). Při plném využití reaktoru je doba procesu přes 60 dnů. Toto plnění se používá převážně v zimním období, jelikož zaručuje dostatek bioplynu a také bezproblémový provoz reaktoru. Přes ostatní roční období se používá poloviční plnění, které zkrátí dobu procesu na polovinu [9, 31, 33].



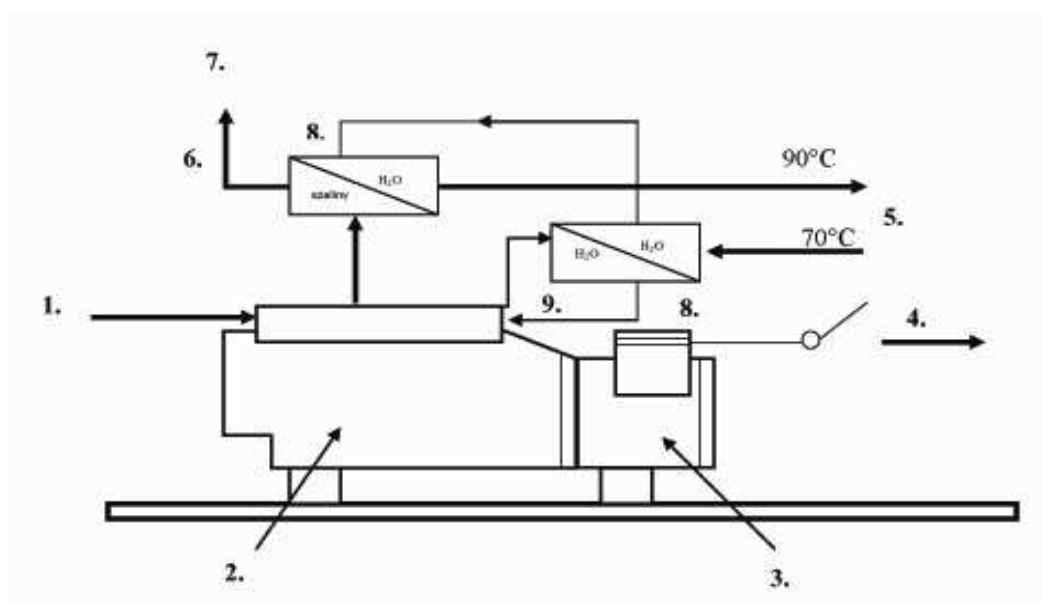
Obr. č. 3.3 – vertikální reaktor [33]

Popis: 1. Čerpadlo 2. Kruhová základna 3. Vnější plášť 4. Bioplyn 5. Fóliový poklop 6. Míchadlo 7. Potrubí

Značnou výhodu od horizontálních reaktorů mají vertikální v tom, že dosahují lepšího poměru mezi objemem a povrchem, čímž sníží tepelné ztráty. Umístění může být nadzemní i podzemní. Podzemní vertikální reaktory sice nezabírají tolik místa jako nadzemní reaktory, avšak je nutnost brát v úvahu veškeré počáteční investice, následné změny se totiž složitě opravují a mění. Proto se raději odpouští od podzemních a převážně jsou instalovány nadzemní vertikální reaktory [9].

3.4.2. Kogenerační jednotka

V dnešní době se každá BPS snaží o co nejefektivnější využití bioplynu a k tomu dopomáhá proces kogenerace. Je to proces, který nám přeměňuje vzniklý bioplyn na tepelnou a elektrickou energii. Ze vzniklého biopaliva je to uspořádáno tak, že se nejprve využívá vysoko potenciální tepelná energie k vykonání práce a teprve potom se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla [34]. Ale snad nepoužívanější fází kogenerace v BPS je tzv. trigenerace. Trigenerace je kombinovaná výroba tepla, elektřiny a chladu. Především chlad se hodí v letních měsících, kdy využití tepla klesá na minimální hranici. Toto využití nám výborně slouží k prodloužení životnosti kogenerační jednotky [34].

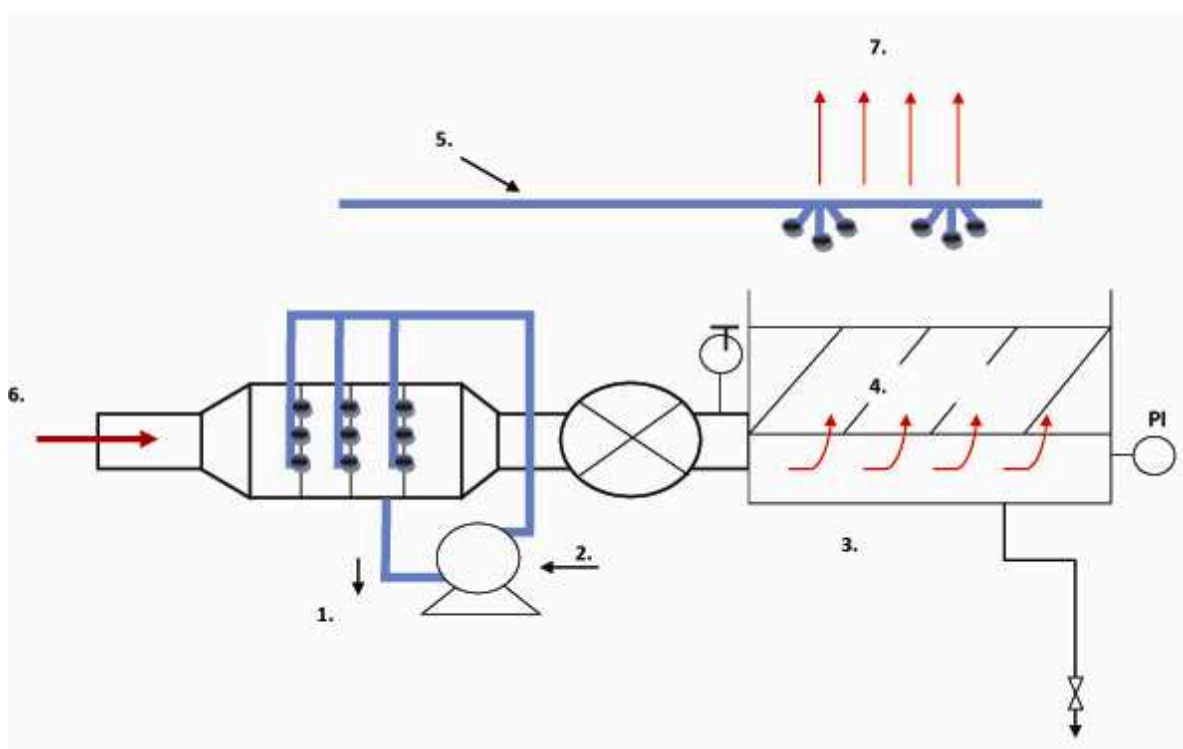


Obr. č. 3.4 – schéma kogenerační jednotky [10]

Popis: 1. Palivo 2. Spalovací motor 3. Generátor 4. Elektrická energie 5. Tepelná energie 6. Spaliny 7. Komín (120 °C) 8. Výměník 9. Chlazení

3.4.3. Odsíření bioplynu

Jedná se o snížení koncentrace sulfanu v bioplynech za pomoci tzv. filtrů. Nejčastěji se používá suchá cesta, která není tak složitá na obsluhu jako mokrá cesta. Většina filtrů pracuje na bázi adsorpce (aktivní uhlí). Zachycený sulfan je odstraněn katalytickou oxidací kyslíkem za vzniku elementární síry [35].



Obr. č. 3.5 – schéma biofiltru [36]

Popisek: 1. Zvlhčovač, 2. Pumpa, 3. Biofiltr, 4. Filtrovací médium, 5. Oplachová voda (pravidelně), 6. Vstupní plyn, 7. Vyčištěný vzduch

4. Výstupní produkty

Při anaerobní digesci vzniká působením metanogenních bakterií bioplyn a digestát. Digestát je tuhý zbytek po vyhnutí se sníženým obsahem biologicky rozložitelných látek.

4.1. Bioplyn

V bioplynu jsou zastoupeny různé plyny, převážnou část tvoří metan [37]. Bioplyn se obsahuje z 55 – 75 % metanu, 25 – 45 % CO₂ a 1 – 3 % minoritních plynů a vlhkost [38].

Výhody a nevýhody při práci a využití bioplynu:

- + Bioplyn je možné ukládat celoročně v celodenních intervalech
- + Bioplyn je možným dodavatelem elektrické a tepelné energie
- + Upravený bioplyn lze bez sebemenších problémů využít jako palivo do všech automobilů na zemní plyn
- + Lze ho převážet v láhvích nebo plynovodech

- Vysoké investiční náklady na úpravu bioplynu
- Optimalizace procesu

Podle vzniku rozlišujeme reaktorový a skládkový bioplyn. Reaktorový bioplyn vzniká v reaktorech bioplynových stanic, především ze zemědělských odpadů a čistírenských kalů. Skládkový bioplyn vzniká na skládkách odpadů

4.1.1. Vznik bioplynu

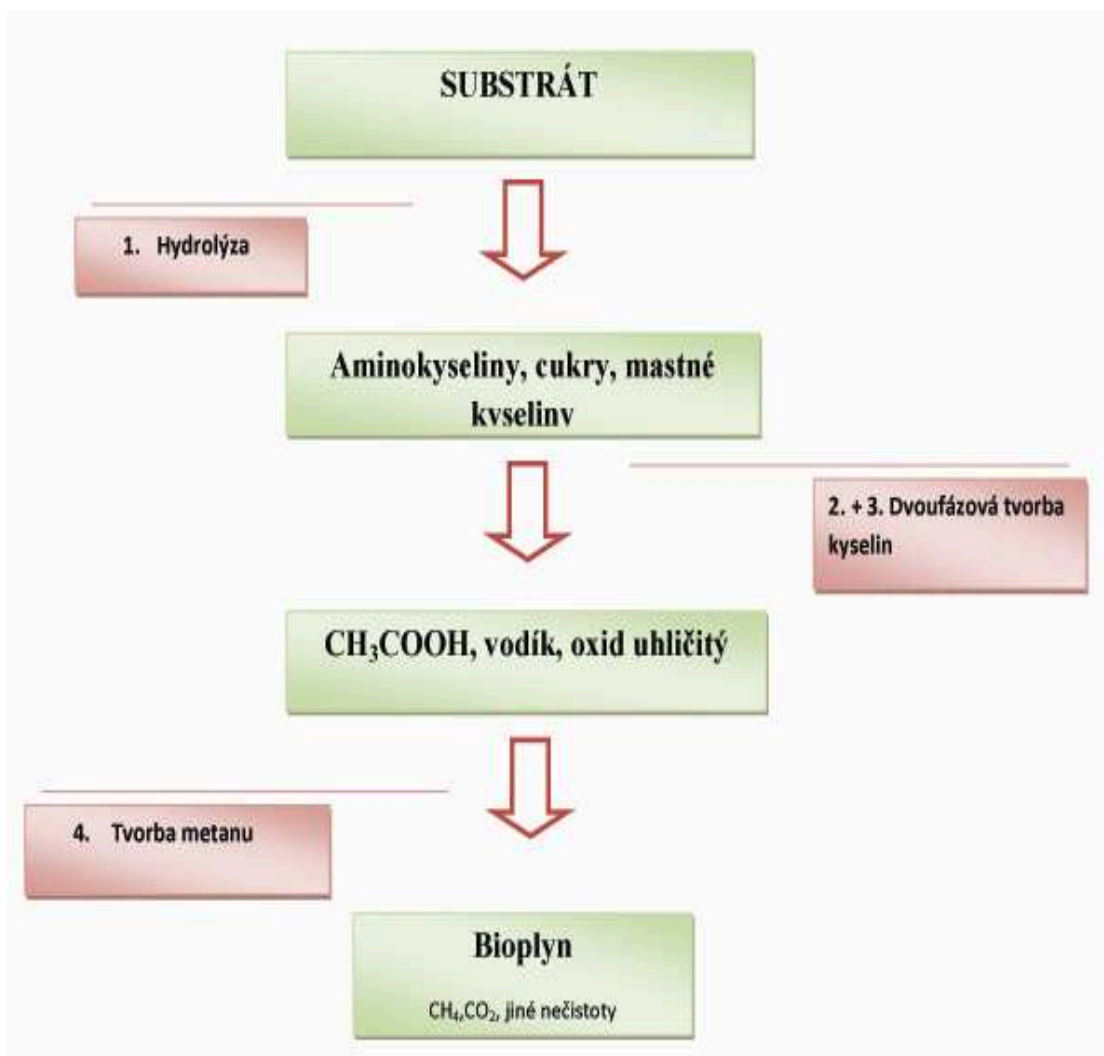
Bioplyn lze z biomasy získat několika způsoby a to termochemickým způsobem tzv. „zplyňováním biomasy“ nebo biochemickým způsobem [39]. Biochemické zpracování organických látek se současným vznikem bioplynu se nazývá anaerobní digesce, dříve metanogenní kvašení.

Anaerobní digesce je velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně – chemických a biologických procesů, při kterých se postupně rozkládají rozložitelné organické látky za pomoci mikroorganismů, a to vše za nepřístupu vzduchu [40, 41]. Na rozkladu se značnou mírou podílí různé skupiny anaerobních organismů, kde produkt jedné skupiny je zároveň produktem té druhé. Proto má výpadek jedné skupiny za následek narušení celého systému [40]. Anaerobní rozklad organických látek vyžaduje metabolickou součinnost několika mikrobiálních skupin – uvádí se čtyři stupně přeměny [40, 42]:

- Hydrolýza (Hydrolysis) je počáteční stupeň přeměny, ve které se ještě vyskytuje kyslík. Hydrolýza se využívá k rozkladu polymerů pomocí extracelulárních enzymů na jednodušší organické látky (monosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny) rozpustné ve vodě [40, 43].
- Acidogeneze (Acidogenesis) je proces, při kterém dochází ke spotřebování kyslíku a vytváří se anaerobní prostředí, kde se aktivují kmeny anaerobních bakterií. Bakterie vytvářejí jednodušší organické látky (vyšší mastné kyseliny a alkoholy), které jsou schopny při nízkém parciálním tlaku vodíku produkovat kyselinu octovou, CO_2 a H_2 při vyšším jsou naopak tvořeny vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná, etanol [40, 43].

- Autogeneze (Acetogenesis) je děj, při němž dochází k oxidaci produktů acidogeneze na CO_2 , H_2 a kyselinu octovou. Vyskytují se zde homoacetogenní mikroorganismy, které produkují vodík a jsou nezbytné pro rozklad kyseliny propionové a ostatních organických kyselin [40].

- Metanogeneze (Methanogenesis) je posledním stupněm procesu využívajícím metanogenní organismy, které rozkládají některé uhlíkaté látky (metanol, kyselina mravenčí, metylamin, CO_2 , H_2 , CO) a kyselinu octovou. Vedle autogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Podle substrátu je lze rozdělit na hydrogenotrofní bakterie přeměňující především vodík a oxid uhličitý na metan a na acetotrofní bakterie, které přeměňují zejména kyselinu octovou na metan [40, 43].



Obr. č. 4.1 – fáze vzniku bioplynu [44]

4.1.2. Bakterie pro tvorbu bioplynu

V procesu anaerobní digesce hrají mikroorganismy nesmírně důležitou roli. V minulých letech byl znám tzv. „třífázový model“, ale v dnešní době se už používá tzv. „čtyřfázový model“. Jak už bylo uvedeno v předcházející kapitole, tento model zahrnuje čtyři základní druhy mikroorganismů pro tvorbu metanu [45].

1. Hydrolytické bakterie, které rozkládají organické polymery na kyselinu octovou (CH_3COOH), vodík (H_2), oxid uhličitý (CO_2), jiné jedno uhlíkaté látky, organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol.
2. Vodík produkující acetogenické bakterie (obligátní a fakultativní anaeroby), jež mohou fermentovat organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol na H_2 a CO_2
3. Homoacetogenické bakterie, které mohou přeměňovat široké spektrum jedno a více uhlíkatých látek na kyselinu octovou
4. Metanogenní bakterie, které mohou z acetátu H_2 , CO_2 a některých dalších jednouhlíkatých organických látek vytvářet metan.

Aby proces anaerobní digesce probíhal správně, je třeba zajistit vhodné životní podmínky pro činnost mikroorganismů:

- striktně anaerobní prostředí
- optimální pH
- stálá teplota
- vhodné složení substrátu

Změnou jakékoliv podmínky narušíme průběh a rovnováhu procesu. V diplomové práci byla teplota procesu nastavena na mezofilní rozsah a to je 25 – 40 °C a pH 6,7 – 7,8.

4.1.2.1. Metanogenní bakterie

Hlavní úlohu při tvorbě bioplynu mají metanogenní bakterie. Při tomto ději nastává několik procesů, které by se bez zapříčinění nestaly. Bakterie můžeme rozdělit na autotrofní a hydrogenotrofní metanogenní bakterie.

- Autotrofní metanogenní bakterie produkují více než 2/3 CH₄ v bioplynu (nadále jen BP). Jejichž funkcí je rozklad kyseliny octové na směs metanu a CO₂. Ve srovnání s hydrogenotrofními bakteriemi mají tyto metanogenní bakterie generační dobu až několik dní [14, 46].
- Heterogenotrofní metanogenní bakterie produkují plyn jako je CO₂, CH₄ a H₂. Rostou mnohem rychleji než autotrofní bakterie a to v řádech hodin [46].

Autotrofní bakterie v anaerobním procesu působí jako samoregulátor. Odstraňuje H₂, jehož koncentrace by měla být minimální, ale to vše závisí na správné činnosti. Vodíkem jsou nejvíce ovlivněny autogenní bakterie, které mají za úkol rozkládat kyselinu propionovou a máselnou. Ale pro tyto organismy je životně důležitý výskyt hydrogenotrofních bakterií [14, 46].

4.2. Digestát

V dnešní době převládá názor, že jeden z koncových produktů bioplynových stanic, digestát, je velmi dobré organické hnojivo. Pravdou ale je, že digestát není organické hnojivo, ale pouze slabší minerální hnojivo [47]. I když toto obsahuje vyšší množství dusíkatých látek, může být efektivně využito v zemědělství. Má-li být digestát využíván jako organická hmota, která by mohla být použita na zemědělské půdě, musí splňovat předpis v úplném znění zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, a zejména úplné znění vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Digestát jakožto potenciální hnojivo má řadu kladů a záporů [47, 48].

- Základní plus je přeměna z exotermního procesu mineralizace na endotermní proces huminifikace. Dalšími plusy mohou být minerální živiny, které se uvolní při rozkladu organické hmoty [47].
- Největší problém v dnešní době přinášejí modernější bioplynové stanice s mezofilním vyhníváním. Dávají mnohem horší digestát a to kvůli snížení veškerých organických složek, které jsou důležitou složkou digestátu. Proto se zastaralé psychrofilní bioplynové stanice v těchto ohledech se zdají být lepší [47].

4.3. Možnosti využití tepla

Kogenerace je výroba elektrické energie a tepla prostřednictvím generátoru poháněného spalovacím motorem na zemní plyn. Veškeré procesy probíhající v BPS spotřebují cca 10 – 30 % vytvořeného tepla, které je nutné k udržení provozu celé BPS. Největší množství tepla se využije pro zajištění stálé teploty substrátu, dále je nutné počítat s tepelnou ztrátou. Teplo vyprodukované v bioplynové stanici lze využívat i pro centrální zásobování teplem (CZT), které umožňuje vytápění domu a ohřev vody. Pro CZT je nejdůležitějším faktorem umístění BPS, která musí být umístěna v bezprostřední blízkosti odběrového místa, čím bližší je odběrový bod, tím nižší jsou náklady na vybudování teplotní přípojky [49].

4.3.1. Sušení

Jako přímé použití vyrobeného tepla z kogenerační jednotky se nabízí ohřev sušícího zařízení. Sušící zařízení jsou různě konstruovány. Sušení se využívá např.:

- Sušení digestátu
- Sušení zemědělských plodin (seno, ječmen, kukuřice)
- Sušení dřeva
- Sušení stěpky

5. Praktická část

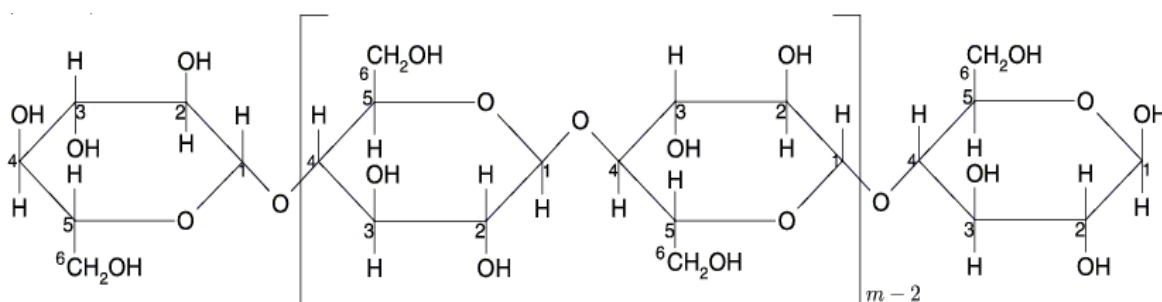
Diplomová práce je zaměřena na zvýšení produkce metanu v travní siláži za pomoci anaerobních hub „*Anaeromyces mucronatus*“, které se izolují z bacheru přežvýkavců. Anaerobní houby (dále už jenom AN. H.) rozkládají části pletiva, které nejsou schopny rozložit bakterie, které se vyskytují v BPS. Tuto schopnost mají převážně díky enzymům, které produkují pouze AN. H. Enzymy biochemicky a mechanicky rozrušují rostlinné pletivo, a tím umožňují lepší rozklad biomasy, což vede k vyšší produkci metanu [3]. AN. H. rodu *anaeromyces mucronatus* jsem získal z mikrobiologického ústavu akademie věd v Praze. Pro převoz AN. H. bylo nutné udržení stálé teploty. Pro tento účel byl VŠB – TUO zapůjčen firmou Fermgas přepravní termobox. Ihned po převozu byly anaerobní houby nasazeny do malých i velkých bioreaktorů v laboratoři Institutu geologického inženýrství, kde jsou provozovány v rámci projektu ENET.

5.1. Majoritní složky biomasy

Účinnost anaerobní digesce souvisí se schopností bakterií rozkládat lignocelulózový materiál. Inhibice biologického rozkladu organické složky je ovlivněna hlavně přítomností ligninu, který chrání celulózu a holocelulózy než chemickými procesy (sorpce enzymů celulózy na lignin). Existuje obecná shoda v literatuře s informací o zvýšené biologické resistenci vůči anaerobní biodedragadaci materiálu s vyšším obsahem ligninu. Converti uvádí, že vyšší obsahy ligninu v biomase (> 15 %) výrazně inhibují anaerobní rozklad. Z výzkumů Komilise vyplývá, že hemicelulóza se v anaerobních podmínkách rozloží úplně (100 %), zatímco celulóza se rozkládá v rozmezí 55 – 91 %, což je doprovázeno poklesem obsahu sušiny od 15 do 66 % [50, 51].

5.1.1. Celulóza

Celulóza je polysacharid, složený z velkého počtu spojených molekul glukózy (viz obr. č. 5.1). Řadíme ji mezi nejsložitější látky vyskytující se v živé přírodě. Plní funkci stavebního polysacharidu. Celulóza je hydrokopická, snadno přijímá vodu a vlhne. V suchém prostředí je velmi stálá. Existuje mnoho organismů, které jsou schopny ji rozložit a to včetně AN. H., které se vyskytují v batoru přežvýkavců [39]. Celulóza se vyskytuje ve formě jako amorfí nebo krystalické. Forma výskytu určuje její rozložitelnost v anaerobní digesci. Amorfí část je lehce rozložitelná, krystalická forma se rozkládá obtížněji a určuje chemickou reaktivnosti [52, 53].



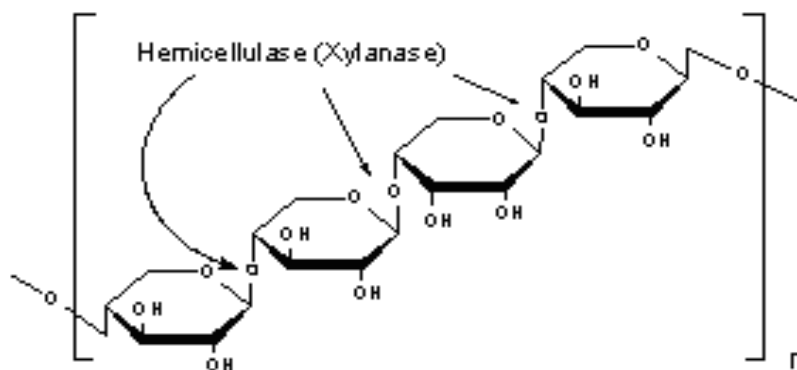
Obr. č. 5.1 – celulóza [54]

5.1.2. Lignin

Lignin je podstatnou částí rostlinných buněk. Lignin není v intaktní hmotě bylin a dřevin separován prostorově, ale je fyzikálně propojen se sacharidickými složkami. Tímto propojením lignin blokuje sacharidy, které by se uplatnily ve fermentační fázi. Lignin je zastoupen v buněčné stěně, podílí se na procesu lignifikace. Hlavní funkci, kterou má lignifikace, je chránit rostlinu před mikroorganismy [53, 55].

5.1.3. Hemicelulóza

Tvoří složku látek polysacharidického charakteru, které se rozpouští ve zředěných louzích a jednoduše hydrolyzovatelnými zředěnými kyselinami. Hemicelulózy vytvářejí amorfni složku buněčné stěny a jsou pravděpodobně chemicky a fyzikálně spojeny s ligninem a celulózou. S těmito složkami hemicelulózy tvoří obtížně rozložitelné makromolekulární komplexní sloučeniny. Hemicelulózy tvoří 17 - 41 % rostlinné hmoty, mění se podle rostlinného druhu a podle její části. Funkce hemicelulózy jsou totožné jako u škrobu a to proto, že tvoří rezervní látky, které se enzymaticky rozkládají na jednoduché cukry [53].



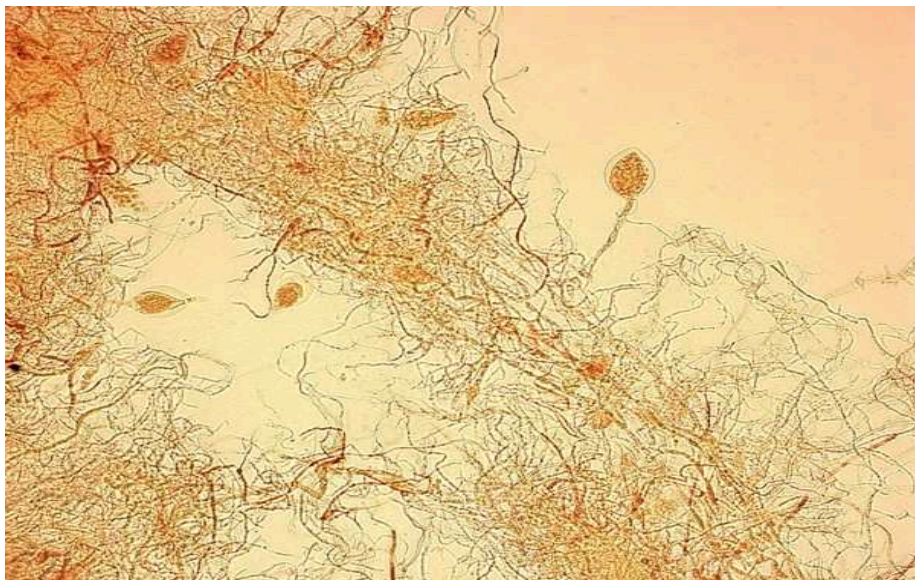
Obr. č. 5.2 – hemicelulóza [56]

5.2. Anaerobní a Aerobní houby

Limitujícím faktorem při anaerobní digesti může být obsah ligninu v substrátu. Pro zlepšení rozkladu majoritních složek jsem použil anaerobní houby rodu *Anaeromyces mucronatus*, které jsem získal z mikrobiologického ústavu v Praze.

5.2.1. Anaerobní houby

První izolovaná houba byla získána roku 1975 z žaludku ovce a do této doby se předpokládalo, že pouze anaerobní bakterie a prvoci se zapojují do hydrolýzy rostlinné biomasy v bachoru [57]. AN. H. *anaeromyces mucronatus* známé i jako KF8 (viz obr. č. 5.3, obr. č. 5.4, obr. č. 5.5) řadíme do třídy *neocallimastigomycota* AN. H. preferují podmínky pro život podobné v bachoru přežvýkavců a to teploty 35 – 40°C a pH v rozmezí 7,3 – 8. Tyto podmínky předurčují jejich symbiózu zejména s metanogenními mikroorganismy v reaktorech. Tato metoda spočívá v tom, že anaerobní houby uvolní potřebné enzymy, které zapříčiňují rozklad rostlinných pletiv a mají schopnost pronikat hluboko do tkání, jež nejsou obvykle přístupné pro anaerobní bakterie. Tím pomáhají k pozdějšímu přístupu anaerobních bakterií, které by se do tkání jinak nedostaly [58]. AN. H. jako jediné houby vůbec mají hydrolitické enzymy organizované v organele zvané celulózom, která zajišťuje těmto houbám prioritní postavení mezi všemi celotickými mikroorganismy [59, 60, 61].



Obr. č. 5.3 – anaerobní houby (*anaeromyces mucronatus*) [62]



Obr. č. 5.4 – anaerobní houby (KF8)



Obr. č. 5.5 – anaerobní houby (KF8) v převozním termoboxu

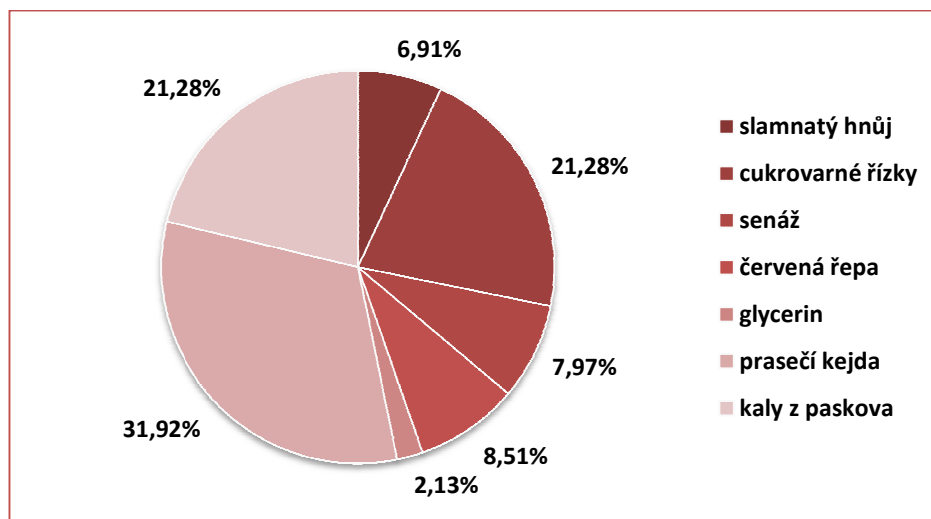
5.2.2. Použití anaerobních hub

Enzymová nebo mikrobiální předúprava se provádí použitím čistých, komerčně vyráběných enzymů – celuláz, nebo přímým použitím mikroorganismů s vysokou celulózní aktivitou (bachelorové kultury anaerobních hub). U těchto hub existují dva způsoby použití AN. H., které zahrnuje technologie výroby bioplynu:

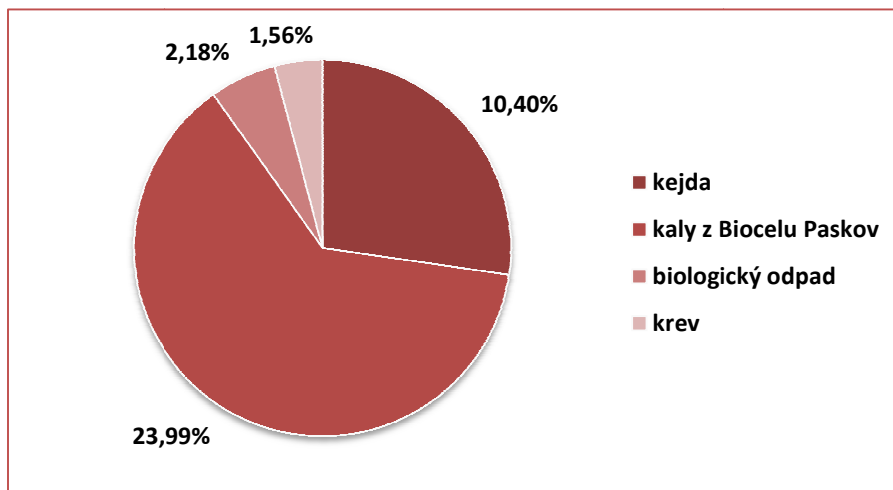
- Bioaugmentace – jedná se o proces, při kterém se AN. H. přidávají do fermentační směsi cíleně za účelem začlenit tyto hydrolytické organismy do skupiny bakterií podílejících se na tvorbě bioplynu [3].

- Dvoustupňový proces – tato metoda spočívá v oddělené hydrolýze za pomoci aerobních hub (dále už A. H.), následně se fermentují rozpuštěné produkty ve druhém laboratorním stupni. Při bioaugmentaci se spotřebovává vodík, který zpomaluje metabolismus A. H., avšak i toto má svou druhou stranu, že vodík a acetát jsou rovněž produkovány A. H. a jsou výbornými substráty pro metanogeny. Nicméně z širokého spektra organismů ve fermentačních směsích vznikají tzv. draví prvoci [3].

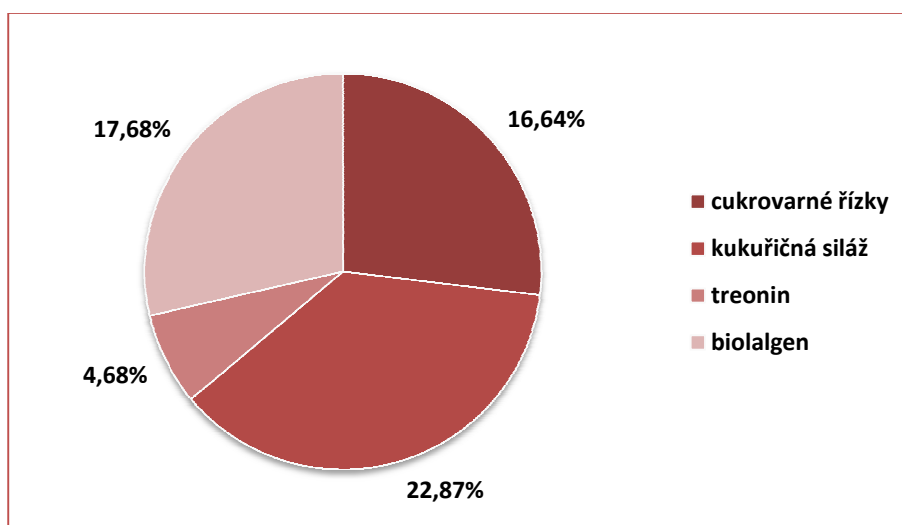
V diplomové práci jsem nepoužil druhou metodu dvoustupňového procesu za použití aerobní houby z důvodu časové vytíženosti laboratorního reaktoru. Proto jsem použil pouze „bioaugmentaci“ za pomoci anaerobních hub rodu *Anaeromyces mucronatus*. Vzorek substrátu (viz obr. č. 5.6) a informace o jejich složení (viz graf č. 5.1 a graf č. 5.2, graf č. 5.3) nám poskytly bioplynové stanice BPS Velké Albrechtice, BPS Klokočov a BPS Stonava. Vzorky jsem získal zásluhou firmy Fermgas. Veškeré pokusy byly provedeny v laboratořích VŠB- TUO, Institut geologického inženýrství.



graf č. 5.1 – složení vsazky v reaktoru Klokočov



graf č. 5.2 – složení vsazky v reaktoru V. Albrechtice (odpadové složky)



graf č. 5.3 – složení vsazky v reaktoru V. Albrechtice (biomasa a aktivátory)

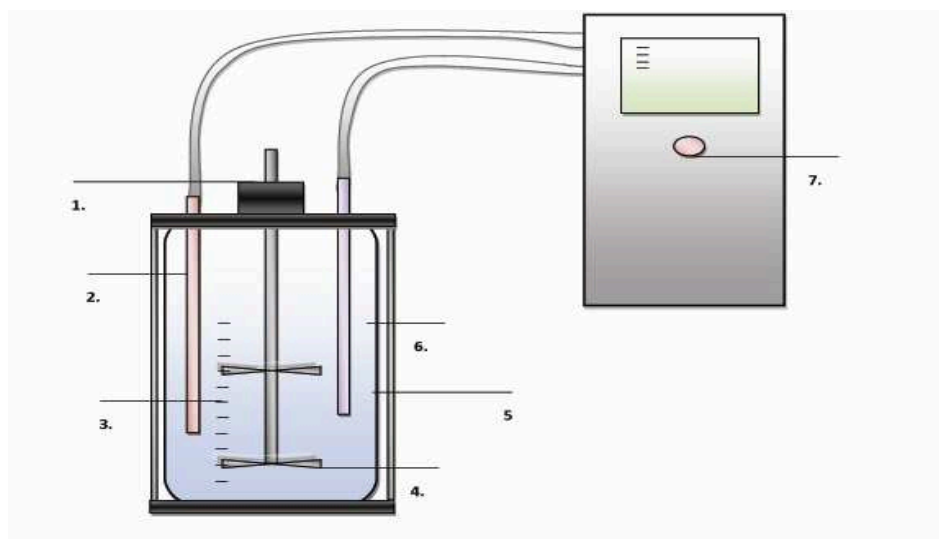
Vysvětlivky: Treonin patří mezi esenciální glukoplastické aminokyseliny. Má velký význam při aktivaci či inaktivaci enzymů, funguje zde jako příjemce fosforylové skupiny. Účast sekundárního hydroxyly treoninu v biochemických reakcích není známa [63]. Bioalgeen je biologickým přípravkem z mořských řas, využívají se pro snižování emisí amoniaku, zlepšuje konverzi krmiva [64].



Obr. č. 5.6 – příprava vsazky do malého reaktoru

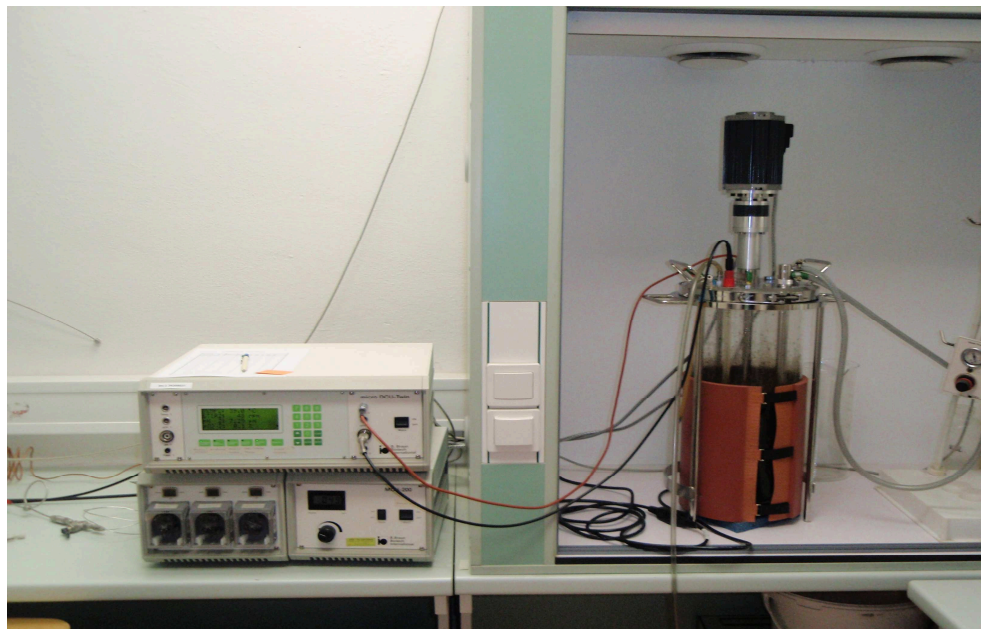
5.3. Experimentální fermentační zařízení

Experimentální testy byly provedeny v laboratořích VŠB-TUO ve 2 reaktorech (typ DCU300 a Sartorius Biostat (viz obr. č. 5.7 - 5.9). Reaktory mají objem 10 l a byly vybaveny dvěma míchadly. Oba reaktory byly poháněny elektrickými motory, které zaručovaly optimální promísení substrátu. Každý z reaktorů měl svou řídicí jednotku, která nám umožňovala regulovat teplotu, hodnotu pH a počet otáček. Hlavní produkt anaerobní digesce, bioplyn, byl odváděn z každého reaktoru pomocí pryžové hadice do plynojemu s vodním uzávěrem (viz obr. č. 5.10 a obr. č. 5.11), kde se hromadil v nádobách o objemu 3 l. Plyn byl odebírán do Tedlarových vaků „tzv. vacuum bag“ v pravidelných intervalech a analyzován pomocí plynového chromatografu.



Obr. č. 5.7 – zjednodušené schéma laboratorního reaktoru

Popisek: 1. Hnací jednotka, 2. Čidlo teploty, 3. Objemová stupnice, 4. Míchadlo, 5. Čidlo pH, 6. reaktor, 7. Měřicí a řídicí software

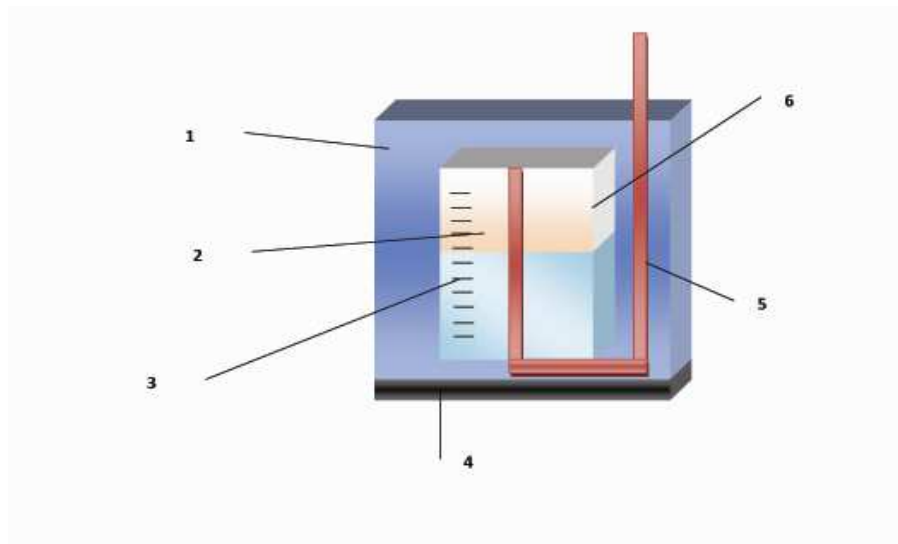


Obr. č. 5.8 – reaktor č. 1(DCU 300) + řídicí jednotka



Obr. č. 5.9 – reaktor č. 2 (Sartorius Biostat) + řídicí jednotka

2012



Obr. č. 5.10 – zjednodušené schéma laboratorního plynojemu

Popis: 1. Vodní nádrž 2. Zadržovaný plyn 3. Stupnice 4. Základová deska 5. Hadice na přívod plynu 6. Skleněná nádoba o objemu 3 l



Obr. č. 5.11 – laboratorní plynojem

Veškeré hodnoty, které jsem získal z analýzy plynového chromatografu, jsem zaznamenal do tabulek (viz tab. č. 5.1 a 5.2).

Tab. č. 5.1 – technologické parametry testu anaerobní digesce pro vsázku z Velkých Albrechtic

pH	Počet dní		Objem bioplynu (ml)	Sledované složky bioplynu	
				CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
	5.	1	2 700	34,58	12,56
7,11	7.		2 450	40,36	13,28
7,11	11.		2 900	44,21	14,27
	13.		1 800	46,56	9,54
7,51	17.	2	2 600	52	7
8,12	20.		2 750	54	5,34
8,28	23.		2 940	56,2	4,12
8,34	27.		2 400	49,49	3,89
8,44	30.		2 300	46,54	3,16
8,56	35.		2 300	42,28	2,14
8,44	38.		1 650	38,56	2,06
8,13	42.		1 500	22,22	1,81

Popisek: 1. Aktivace přidáním anaerobních hub (*anaeromyces mucronatus*), 2. Snížená teplota na 37 °C

Tab. č. 5.2 – technologické parametry testu anaerobní digesce pro vsázku z Klokočova

pH	Počet dní	Objem plynu (ml)	Sledované složky bioplynu	
			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
	aktivace	přidány AN. H		
7,11	0	0	0	0
	0	0	0	0
8,09	snížení teploty	na 37°C		
8,09	0	0	0	0
8,09	0	0	0	0

Kromě velkých laboratorních reaktorů s objemem 10 l jsem provedl stejný pokus v šesti malých laboratorních reaktorech (viz obr. č. 5.12 a obr. č. 5.13, obr. č. 5.14). Laboratorní reaktory s magnetickým míchadlem byly umístěny v termostatované skříni, která zajišťovala stálou teplotu. Bioplyn se zachycoval v Tedlarových vacích (tzv. „vacuum bag“), připevněných na reaktoru. Obsah sáčků byl pravidelně odebírán a analyzován za pomoci plynového chromatografu. Veškeré hodnoty jsem také uvedl do tabulek (viz tab. č. 5.3, tab. č. 5.4 a tab. č. 5.5). Reaktory neumožňují kontinuální sledování pH.

Tab. č. 5.3 – výsledky produkce bioplynu v malých reaktorech - vsázka Velké Albrechtice

pH	počet dní	objem (ml)	Sledované složky bioplynu	
			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
6,80	5.	1690	26,14	12,63
6,75	10.	1925	41,01	9,20
	13.	2773	54,41	8,61
	17.	3052	44,42	3,16
	20.	1934	29,24	2,07
	24.	1630	16,12	1,14
	33.	920	12,67	1,23

Tab. č. 5.4 – výsledky produkce bioplynu v malých reaktorech - vsázka Klokočov

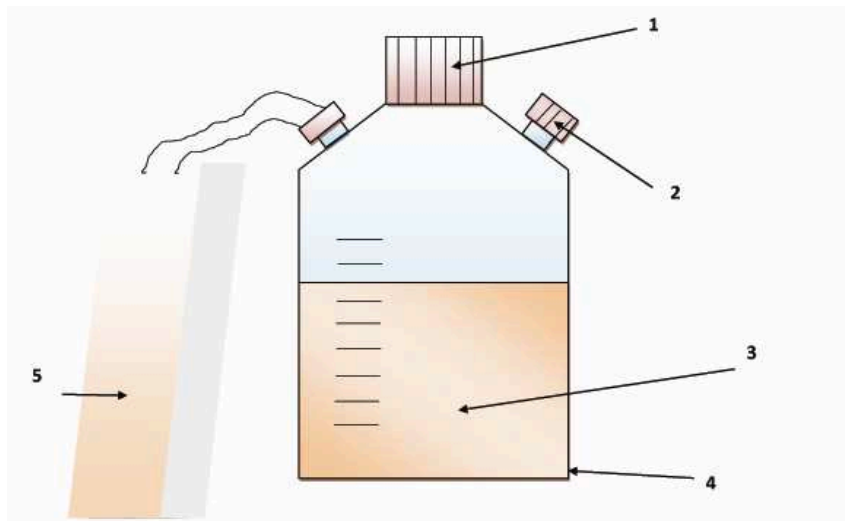
pH	počet dní	objem (ml)	Sledované složky bioplynu	
			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
7,95	5.	690	6,14	2,63
7,98	10.	625	21,01	7,2
	13.	73	25,41	8,61
	17.	52	10,42	3,16
	20.	34	9,24	2,07
	24.	30	6,12	1,14
	33.	52	6,67	1,23

Tab. č. 5.5 – výsledky produkce bioplynu v malých reaktorech - vsázka Stonava

pH	počet dní	objem (ml)	Sledované složky bioplynu	
			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
7,89	5.	1697	27,38	11,19
7,91	10.	2628	39,5	9,78
	13.	2940	47,16	15,35
	17.	3235	56,46	13,7
	20.	2240	44,11	12,89
	24.	2103	32,69	12,29
	33.	770	24,87	9,14



Obr. č. 5.12 – malý reaktor s magnety na magnetickém míchadle



Obr. č. 5.13 – zjednodušené schéma malého reaktoru

1. vrchní uzávěr 2. boční výpusť 3. Substrát 4. nádoba o objemu 1 l 5. Tedlarový vak „vacuum bag“



Obr. č. 5.14 – měření objemu plynu pomocí průtokového měřiče

5.1. Vstupní a výstupní hodnoty

5.1.1. Vyhodnocení a zpracování naměřených dat

Výsledky analýz jsem použil pro výpočty, které uvádím v této subkapitole. Teoretická hodnota CHSK vzniklého metanu je rovna teoretické CHSK původního substrátu. Z toho plyne, že maximální teoretická výtěžnost metanu je dána vztahem: [15].

$$CHSK_{substrátu} = CHSK_{metanu} \quad (5.1)$$

Skutečná výtěžnost metanu je nižší, protože CHSK zahrnuje i část CHSK biologicky nerozložitelnou a část CHSK substrátu se spotřebuje na růst nové biomasy. Přesnější je bilance odstraněné CHSK: [15].

$$CHSK_{odstraněná} = CHSK_{metanu} + CHSK_{biomasy} \quad (5.2)$$

Kde je:

$CHSK_{odstraněná}$	skutečně odstraněná (tj. biologicky rozložená) část substrátu v průběhu metanizace,
$CHSK_{metanu}$	množství vzniklého metanu vyjádřeného v CHSK,
$CHSK_{biomasy}$	představuje část substrátu spotřebovanou pro růst a krytí energetických nároků biomasy.

Ze vztahu 5. 2 můžeme na základě provedeného pokusu stanovit produkci biomasy. Produkce biomasy se jinak zjišťuje obtížně, zejména při anaerobním zpracování nerozpuštěných organických materiálů. Teoretickou výtěžnost metanu vyjádřenou jako hmotnostní množství metanu na hmotnostní jednotku přivedeného substrátu – $Y_{CH_4m}^{teor}$ – vypočítáme podle vztahu 5. 3 [15].

$$Y_{CH_4m}^{teor} = 0,25 \text{ CHSK [g/g]} \quad (CH_4, \text{ substrát}) \quad (5.3)$$

nebo vyjádřenou jako objem vyprodukovaného metanu na hmotnostní jednotku přivedeného substrátu $Y_{CH_4m}^{teor}$ – vypočítáme podle vztahu 5.4 [15].

$$Y_{CH_4g}^{teor} = 0,35 \text{ CHSK [l/g]} \quad (CH_4^*, \text{ substrát}) \quad (5.4)$$

Přepočtové koeficienty jsou uvedeny v tabulce č. 5.6

Tab. č. 5.6 – přepočtové koeficienty jednotek mezi CH_4 a CHSK [15]

1 mol CH_4	2 moly O_2
	64 g CHSK
	22,4 l *
1 g CHSK	0,25 g CH_4
	0,35 l CH_4 *
1 g CH_4	4 g CHSK
	1,41 *
1 l CH_4	2,857 g CHSK

Popisek: CHSK – chemická spotřeba kyslíku (g/g sušiny), TOC - obsah organického uhlíku (g/g sušiny), *platí pro standardní podmínky, teplota 0 °C, tlak 101,3 kPa

Výpočet teoretické koncentrace metanu v bioplynu

Při znalosti POXČ nebo CHSK a obsahu organického uhlíku zpracovávaného substrátu můžeme vypočítat koncentraci metanu v bioplynu podle vztahu: [15]

$$\% CH_4 = \frac{18,75 \text{ CHSK}}{C_{org}} [\text{g/g}] \quad (CH_4, \text{ substrát}) \quad (5.5)$$

Nebo při znalosti POXČ substrátu:

$$\% \text{CH}_4 = \frac{4 - \text{POXČ}}{8} [\text{g/g}] \quad (\text{CH}_4, \text{ substrát}) \quad (5.6)$$

5.1.2. Prováděné rozbor, stanovované veličiny

Vzorky byly analyzovány na jednotlivých pracovištích VŠB-TUO (Institut geologického inženýrství a Institut environmentálního inženýrství – N_{celk} a TOC/DOC). V tekutých substrátech bylo stanovováno před a po fermentaci CHSK_{Cr} , TOC/DOC, N_{celk} , ostatní formy dusíku (N-NO_3 , N-NH_4 , N-NO_2), P_{celk} , RL, NL, vše v $[\text{mg.l}^{-1}]$. Dále byla stanovena sušina při 105 °C, organická sušina při 550 °C, obsah popela 850 °C, také obsah makro komponentů (lignin, celulóza a hemicelulóza) vše v [%].

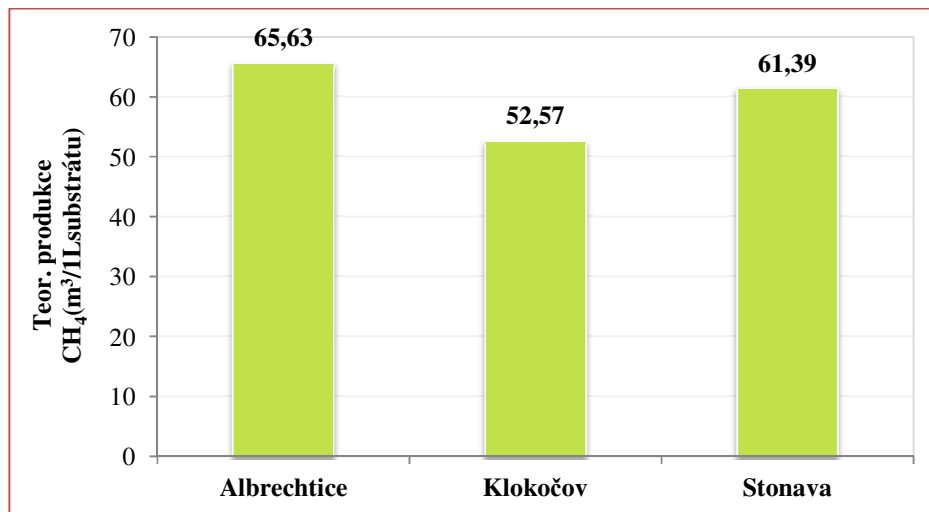
Rozbor během technologického procesu: analýzy výstupního bioplynu (C_xH_y , CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S), pH, teplota, míchání.

Z výsledků byl proveden výpočet výtěžnosti bioplynu. Všechny hodnoty vstupu ze všech bioplynových stanic byly uvedeny v následující tabulce (viz tab. č. 5.7) a grafech představujících teoretickou produkci metanu (viz graf č. 5.4 – 5.6).

Tab. č. 5.7 – analýza vstupních substrátů z jednotlivých BPS

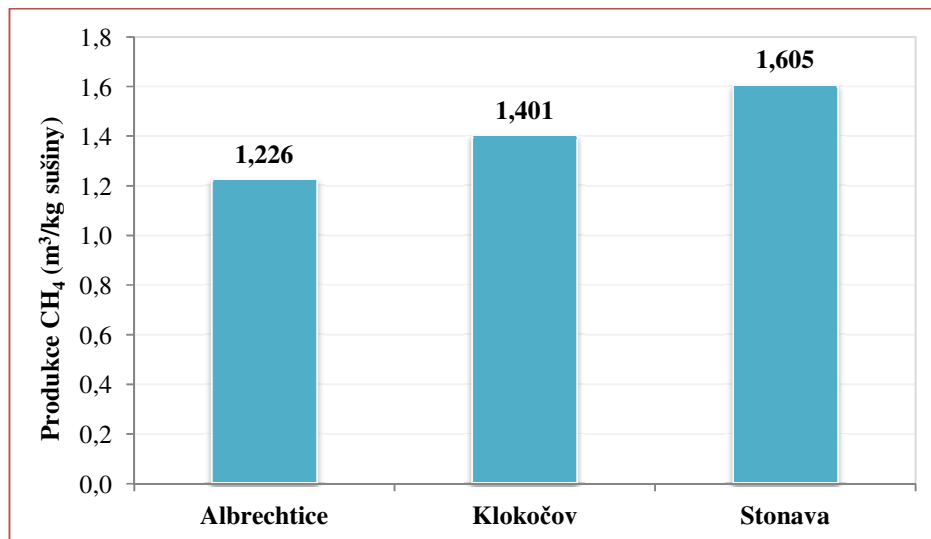
Jednotky		Albrechtice	Klokočov	Stonava
		vstup	vstup	vstup
		8,03	8,26	7,66
vodivost	mS/cm	15,86	23,5	23,8
V.L.105°C	g/l	73,2	44,73	53,84
V.L. 550°C	g/l	53,51	37,53	38,24
N.L.	g/l	60,47	30,67	38,8
CHSK_{-Cr}	g/l	187,5	150,2	175,4
TOC	mg/l	3 582,00	2 964,00	4 074,00
N_{celk}	mg/l	1 964,00	1 783,00	2 240,00
NH₄	mg/l	1 885,63	1 757,19	1 537,48
N-NH₄	mg/l	1414,22	1317,89	1153,11
N-NH₄	% N _{celk}	72,01	73,91	51,48
P_{celk}	mg/l	327,25	278,59	411,2
celulóza	%	36,17	25,34	25,59
hemicelulóza	%	40,47	40,32	48,39
lignin	%	21,29	31,88	23,7
Poměr C/N		1,82	1,66	1,82

Z hodnoty CHSK substrátu jsem podle rovnice (5.2) vypočítal teoretickou produkci metanu na 1L substrátu a na 1 kg veškeré sušiny.



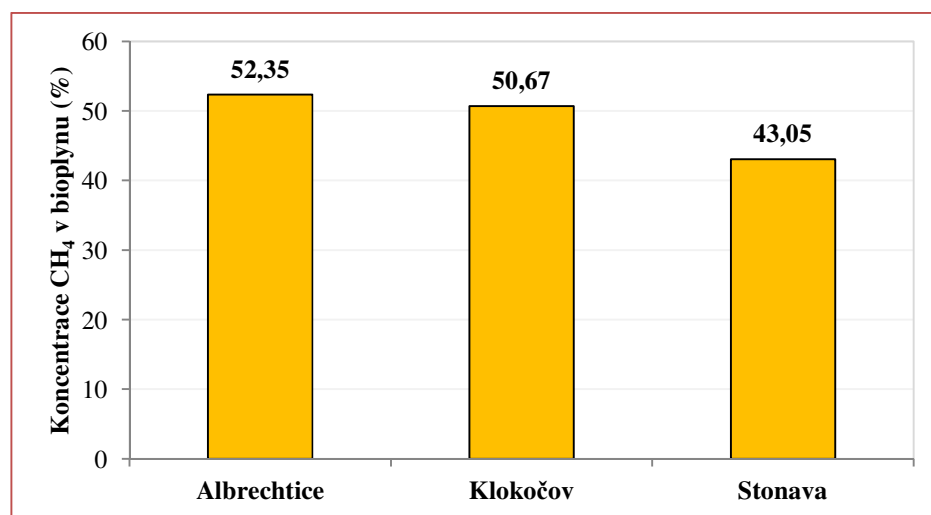
Graf č. 5.4 – teoretická produkce metanu z vsazek BPS

Nejvyšší množství bioplynu by mělo vzniknout ze substrátu, který používá BPS Velké Albrechtice. Substrát z BPS Albrechtice vykazoval nejvyšší hodnotu CHSK. Při přepočtu produkce bioplynu na substrát je produkce bioplynu z BPS Albrechtic nejnižší, protože BPS Albrechtice má nejvyšší vsázku celkové sušiny.



Graf č. 5.5 – teoretická produkce metanu přepočtena na 1kg sušiny

Druhý graf č. 5. 5 nám ukazuje množství metanu přepočtený na 1 kg sušiny.



Graf č. 5.6 – produkce metanu v BP

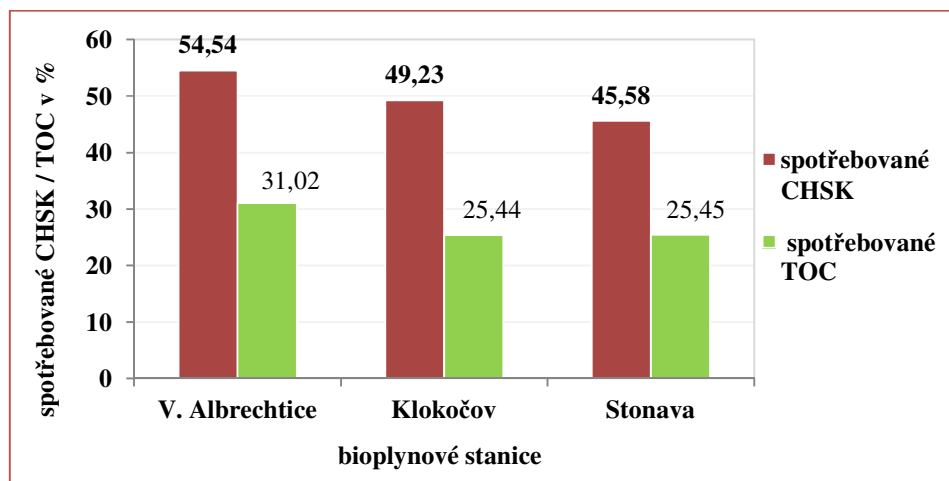
Podle rovnice 5.5 jsem vypočítal procentuální podíl metanu v bioplynu. Nejvyšší koncentrace metanu byla vypočtena pro BPS Albrechtice. Reálná výtěžnost bioplynu z malých a velkých laboratorních reaktorů byla vypočtena z výsledků chemických analýz substrátů po ukončení anaerobního rozkladu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 5.8 – č. 5.9 pro malé reaktory.

Tab. č. 5.8 – výsledky chemické analýzy po ukončení anaerobní digesce – malé reaktory

	Jednotky	Albrechtice	Klokočov	Stonava
		výstup	výstup	výstup
pH		8,53	8,55	7,87
vodivost	mS/cm	23,4	25,8	18,83
V.L.105°C	g/l	47,48	48,04	57,79
V.L. 550°C	g/l	23,04	21,26	25,42
N.L.	g/l	37,4	24,8	32,4
CHSK . Cr	g/l	85,24	76,25	95,46
TOC	mg/l	2 471,00	2 210,00	3 037,00
N_{celk}	mg/l	2 194,00	1 716,00	1 869,00
NH₄	mg/l	1 787,05	1 646,77	1 881,13
N-NH₄	mg/l	1340,29	1235,08	1410,85
N-NH₄	% N _{celk}	61,09	71,97	75,49
celulóza	%	30,13	20,82	18,85
hemicelulóza	%	33,26	33,93	34,66
lignin	%	18,16	28,06	21,79
Poměr C/N		1,13	1,29	1,62

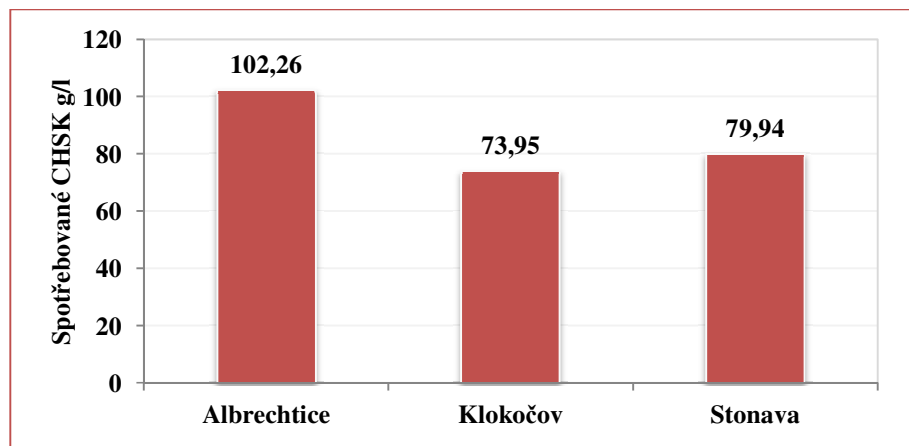
Tab. č. 5.9 – výstupní hodnoty z malých reaktorů

	Albrechtice	Klokočov	Stonava
	výstup	výstup	výstup
Spotřebovaná sušina %	56,94	43,35	33,53
Spotřebované CHSK %	54,54	49,23	45,58
Spotřebované TOC %	31,02	25,44	25,45
Úbytek celulózy %	16,7	17,84	26,34
Úbytek hemicelulózy %	17,82	15,85	28,37
Úbytek ligninu %	14,7	11,98	8,06



Graf č. 5.7 – spotřebované CHSK / TOC v % pro malé reaktory

Z grafu č. 5.7 a z tabulky č. 5.9 je zřejmé, že nejvyšší úbytek CHSK i celkového organického uhlíku TOC vykazoval vzorek substrátu z BPS Albrechtice. I když vzorek obsahoval pouze 20 % tzv. „cukernatých složek“ s nejsnadnější biologickou rozložitelností. Zato ve špatně rozložitelných kalcích z Biocelu Paskov byl podíl odbouraného CHSK nejvyšší.



Graf č. 5.8 – spotřebované CHSK g/l

Ve velkých reaktorech probíhala anaerobní digesce substrátů z BPS Velké Albrechtice a z BPS Klokočov. U obou substrátů byly použity anaerobní houby. Hodnoty sledovaných parametrů po ukončení anaerobní digesce byly zaznamenány do tabulek (viz tab. č. 5.10, tab. č. 5. 11).

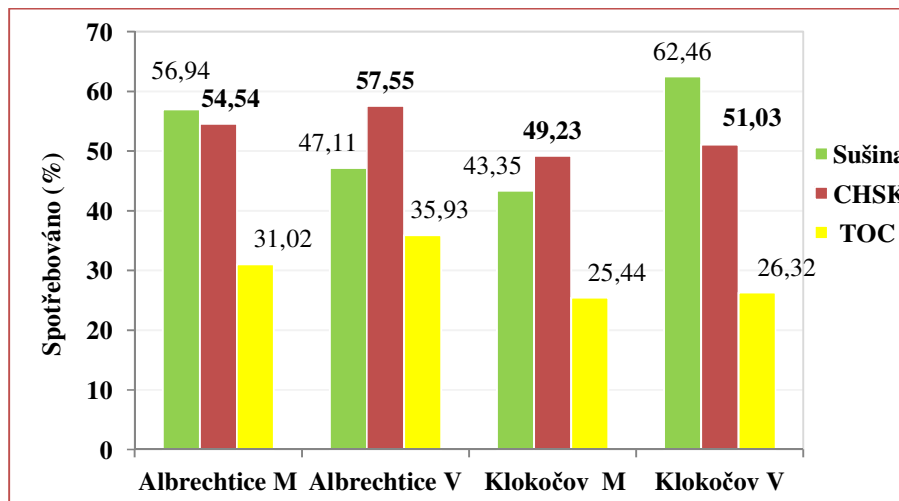
Tab. č. 5.10 – výstupní hodnoty z velkých reaktorů

	Jednotky	Albrechtice	Klokočov
		výstup	výstup
pH		8,64	8,41
vodivost	mS/cm	21,4	22,5
V.L.105°C	g/l	61,71	34,12
V.L. 550°C	g/l	28,3	14,09
N.L.	g/l	40,2	16,47
CHSK . Cr	g/l	79,6	73,56
TOC	mg/l	2 295,00	2 184,00
N_{celk}	mg/l	2 118,00	1 530,00
NH₄	mg/l	1525,13	1859,16
N-NH₄	mg/l	1143,85	1394,37
N-NH₄	% N _{celk}	54,01	91,14
celulóza	%	27,76	20,12
hemicelulóza	%	35,29	33,41
lignin	%	20,11	27,5
Poměr C/N		1,08	1,43

Tab. č. 5.11 – výstupní hodnoty z velkých reaktorů

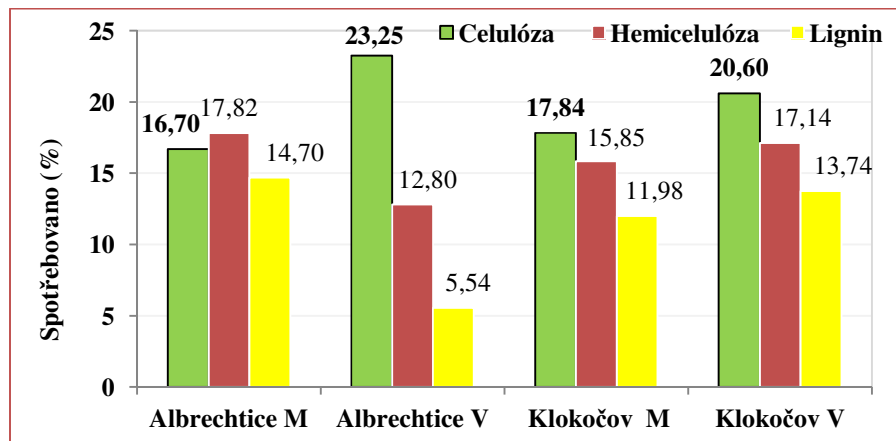
	Albrechtice	Klokočov
	výstup	výstup
Spotřebovaná sušina %	47,11	62,46
Spotřebované CHSK %	57,55	51,03
Spotřebované TOC %	35,93	26,32
Úbytek celulózy %	23,25	20,6
Úbytek hemicelulózy %	12,8	17,14
Úbytek ligninu %	5,54	13,74

Na grafu č. 5.9 je vyneseno spotřebované množství CHSK pro velké a malé reaktory. Obecně lze předpokládat, že proces ve velkém reaktoru je lépe řízen (míchání a možnost regulace pH), proto by hodnoty spotřebovaného CHSK měly být vyšší. Tento předpoklad byl splněn u parametru CHSK a TOC, kdy spotřeba organických látek ve velkém reaktoru byla vyšší, ale na druhé straně se pohybovala na hranici analytické chyby stanovení (20 %). Výrazný úbytek se projevil u organické sušiny pro vsázku z BPS Klokočov, u vsázky z BPS Albrechtice bylo množství odbourané sušiny ve velké bioreaktoru nižší. Vzhledem k tomu, že z časových důvodů nebyly obě zkoušky opakovány, nelze v tomto případě vyloučit analytickou chybu spojenou s nehomogenitou vzorku.



Graf č. 5.9 – spotřebované CHSK / TOC / sušina (M – malý reaktor, 2. V – velký reaktor)

Na grafu č. 5.10 je uveden výsledek rozkladu majoritních komponentů, během anaerobní digesce se odstranilo 16.7 – 23.25 % celulózy v substrátu z BPS Albrechtice a u substrátu z Klokočova 17.84 - 20.60 %. Nejnižší rozklad vykazoval lignin, kdy v substrátu z Albrechtic se rozložilo 5.54 – 14.70 % a v substrátu z Klokočova 11.98 – 13.74 %. Substrát z Klokočova vykazoval lepší rozklad majoritních komponentů biomasy ve velkém bioreaktoru. U substrátu pro BPS Albrechtice se podobný výsledek získal pouze u celulózy.



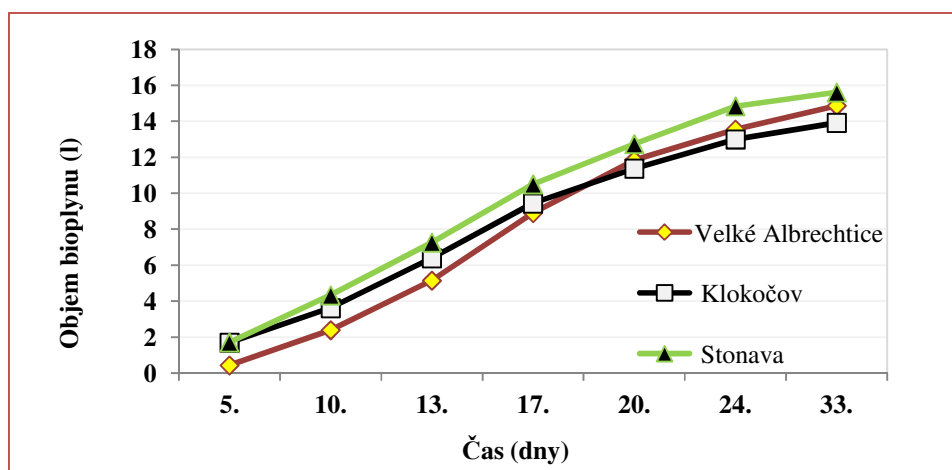
Graf č. 5.10 – spotřebované majoritní složky (v reaktorech)

Laboratorní produkce bioplynu v malých a velkých reaktorech

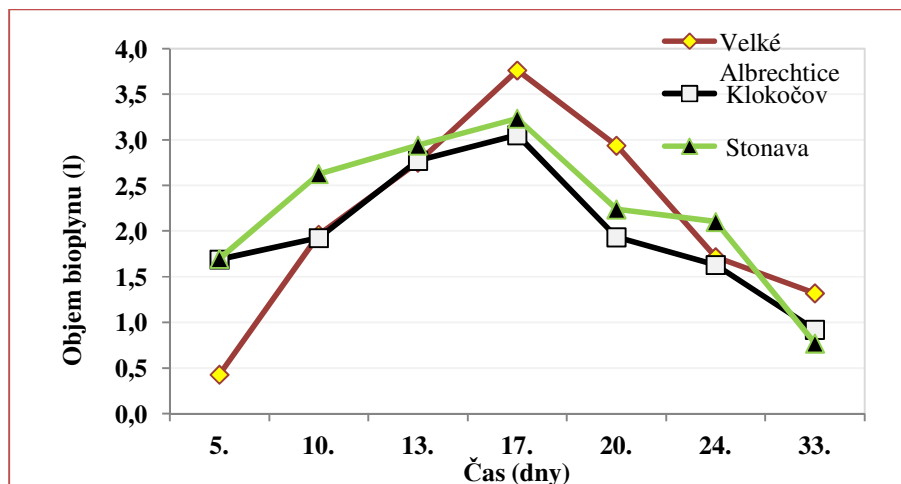
Do malých reaktorů se připravila vsázka o objemu 450 ml ze substrátů získaných z BPS Velké Albrechtice, Klokočov a Stonava. Do malých reaktorů se substrátem z BPS Velké Albrechtice a Klokočova bylo přidáno navíc 75ml anaerobních hub. Výsledky objemu plynu a koncentrace metanu v bioplynu jsou uvedeny v následujících tabulkách. Do velkého reaktoru byl umístěn substrát z BPS ve Velkých Albrechticích a Klokočova. Každá vsázka v reaktoru obsahovala 4,5 l substrátu z BPS a 0,6 l anaerobních hub. Veškeré výsledné hodnoty byly zapsány v tabulkách (viz tab. č. 5. 12 až č. 5.15) a grafech (viz graf č. 5.11 až č. 5.18).

Tab. č. 5.12 – naměřené hodnoty BP z produkce anaerobní digesce ze vsazek BPS

Počet dní	V. Albrechtice	Klokočov	Stonava
	Objem bioplynu (ml)	Objem bioplynu (ml)	Objem bioplynu (ml)
5.	427	1690	1697
10.	1962	1925	2628
13.	2752	2773	2940
17.	3763	3052	3235
20.	2938	1934	2240
24.	1715	1630	2103
33.	1320	920	770
	Σ 14877	Σ 13924	Σ 15613



Graf č. 5.11 – kumulativní křivka produkce BP

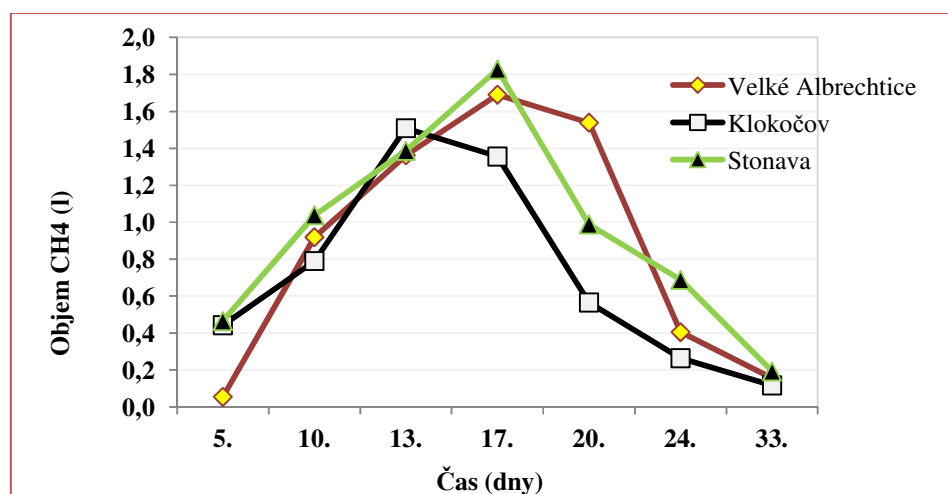


Graf č. 5.12 – časový průběh produkce BP v malých reaktorech

Z časového průběhu produkce bioplynu je zřejmé, že největší množství vyprodukovaného bioplynu se pro všechny 3 substráty dosáhne 17. den od zahájení rozkladu, od 17. dne se produkce pomalu snižuje. Nejrychlejší nástup produkce bioplynu byl zjištěn u vsázky z BPS Stonava. Z tabulky č. 5.12 i z kumulativní křivky na grafu č. 5.11 je zřejmé, že nejvyšší produkce bioplynu byla zjištěna u substrátu pro BPS Stonava. Z koncentrace CH_4 v bioplynu stanovené pomocí mikrochromatografu (Agilent). Byl vypočten objem CH_4 v bioplynu (tabulka č. 5.13). Veškeré výstupní hodnoty pro vytvoření tabulky č. 5.13 jsou uvedeny v kapitole 5.3 experimentální fermentační zařízení v tabulkách č. 5.3 – 5.5.

Tab. č. 5.13 – hodnoty pro výpočet produkce metanu na základě spotřeby substrátu

Počet dní	V. Albrechtice	Klokočov	Stonava
	ml CH ₄ /ml substrátu	ml CH ₄ /ml substrátu	ml CH ₄ /ml substrátu
5.	53,93	441,77	464,64
10.	918,61	789,44	1038,06
13.	1361,96	1508,79	1386,5
17.	1690,72	1355,7	1826,48
20.	1538,92	565,5	988,06
24.	404,23	262,76	687,47
33.	155,5	116,56	191,5
	Σ 6123,87	Σ 5040,52	Σ 6582,72



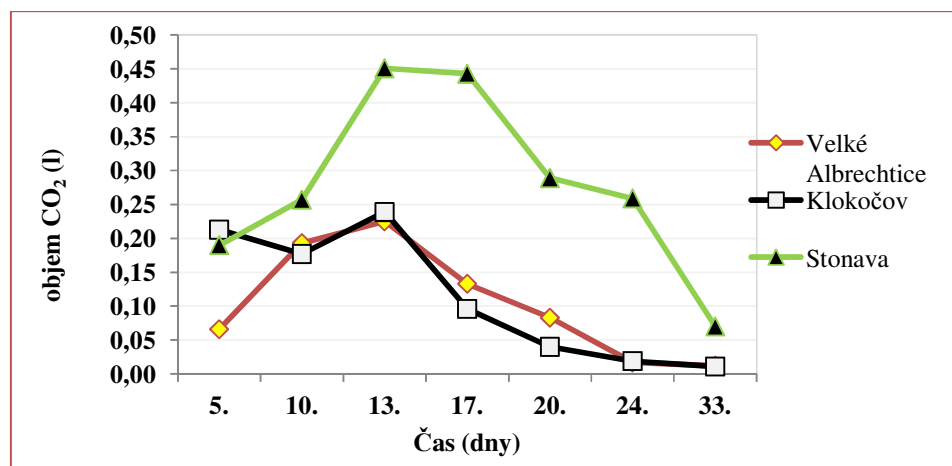
Graf č. 5.13 – hodnoty naměřené pro výpočet produkce metanu na základě spotřeby substrátu

I v tomto případě se projevilo, že nejvyšší obsah metanu v bioplynu se získal u substrátu ze Stonavy 17. den, zatímco u substrátu z Klokočova již 13. den. Hodnoty metanu na poměr 1 kg sušiny se projeví podobným způsobem.

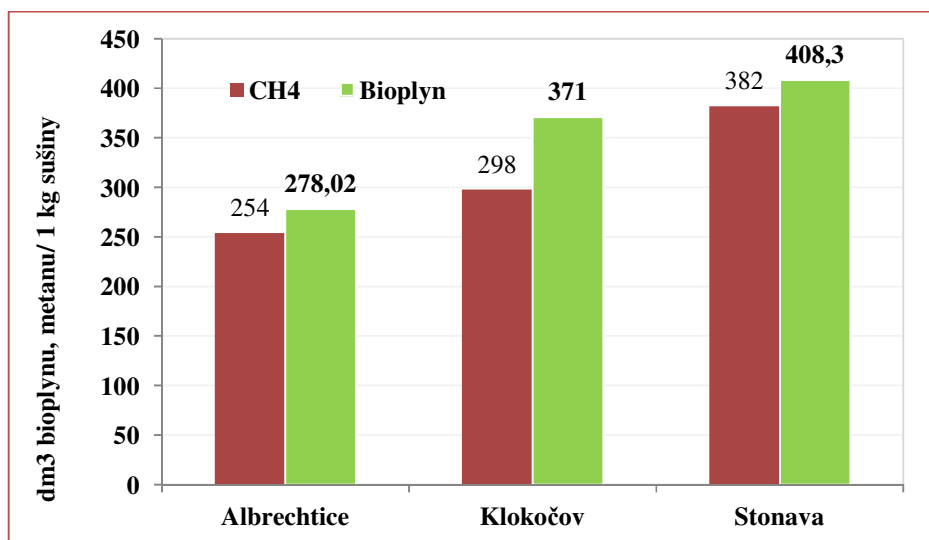
Nejvyšší hodnotu měl substrát ze Stonavy a to $2,18 \text{ m}^3 / \text{kg}$. Nejnižší hodnota byla zaznamenána u substrátu z Velkých Albrechtic a to $1,17 \text{ m}^3 / \text{kg}$.

Tab. č. 5.14 – hodnoty naměřené pro výpočet objemu CO_2 na základě spotřeby substrátu

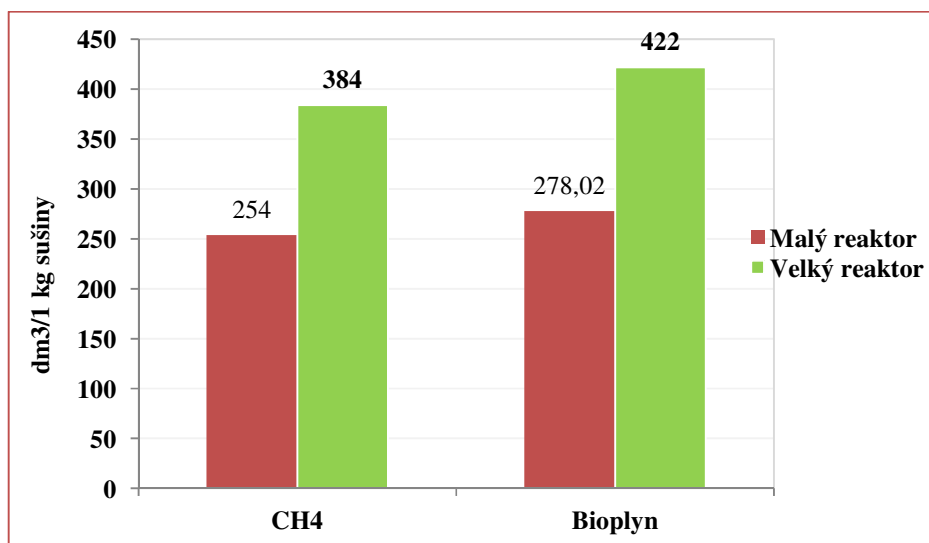
Počet dní	V. Albrechtice	Klokočov	Stonava
	mlCO_2/ml substrátu	mlCO_2/ml substrátu	mlCO_2/ml substrátu
5.	66,06	213,45	189,89
10.	193,26	177,1	257,02
13.	225,39	238,76	451,29
17.	132,83	96,44	443,2
20.	83,44	40,03	288,74
24.	16,81	18,58	258,46
33.	12,28	11,32	70,38
	$\Sigma 730,06$	$\Sigma 795,68$	$\Sigma 1958,97$



Graf č. 5.14 – hodnoty naměřené pro výpočet objemu CO_2 na základě spotřeby substrátu



Graf č. 5.15 – množství produkovaného bioplynu a metanu – malé reaktory

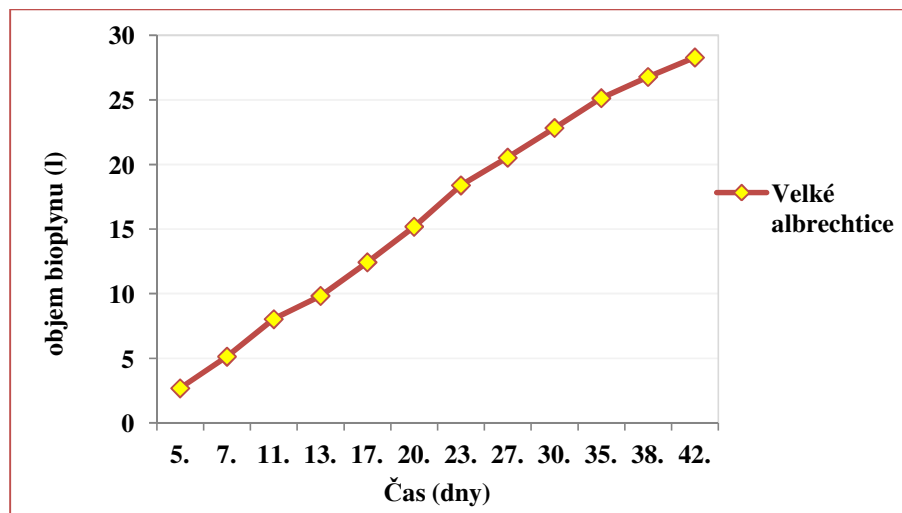


Graf č. 5.16 – srovnání množství produkovaného BP a CH₄ pro substrát z BPS Albrechtice v malém a velkém reaktoru

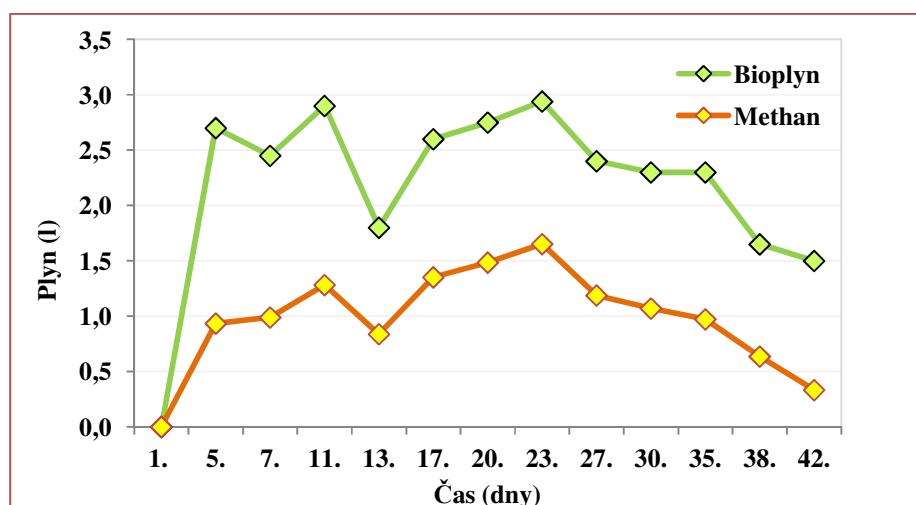
Tab. č. 5.15 – hodnoty objemu BP vyprodukovaných z velkých reaktorů

pH	Počet dní	Pojmy	Velké Albrechtice	
6,8		1.	Objem plynu (ml)	CH ₄ (ml) /ml substrátu
	5.	2.	2 700	933,66
7,11	7.		2 450	988,82
7,11	11.		2 900	1282,09
	13.		1 800	838,08
7,51	17.	3.	2 600	1352
8,12	20.		2 750	1485
8,28	23.		2 940	1652,28
8,34	27.		2 400	1187,76
8,44	30.		2 300	1070,42
8,56	35.		2 300	972,44
8,44	38.		1 650	636,24
8,13	42.		1 500	333,3
		Σ	28290	12732,1

Popisek: 1. Začátek experimentu (pH 6,8), 2. Aktivace přidány houby, 3. Snížená teplota na 37°C



Graf č. 5.17 – kumulativní křivka produkce BP pro substrát z BPS Albrechtice



Graf č. 5. 18 – hodnoty BP a hodnoty produkce metanu na základě spotřeby substrátu

Vzorek z Klokočova se vůbec nepodařilo rozjet. Pravděpodobně za to mohl náš špatný odhad obsahu vsázky do reaktoru a reaktor byl přetížený. Druhý vzorek substrátu z Velkých Albrechtic se po 14 dnech téměř zastavil, po snížení teploty se podařila obnovit produkce bioplynu.

Na základě informací z BPS Stonava je známo, že produkce bioplynu se v roce 2010 pohybovala okolo 536 (dm^3/kg sušiny). Z laboratorního testu v malém reaktoru vyplývá, že hodnota výtěžnosti byla menší, 408 (dm^3/kg sušiny). Z těchto výsledků je zřejmé, že v laboratorních reaktorech nebyly pravděpodobně zajištěny optimální podmínky. A nejspíš proto došlo k vyššímu zatížení reaktoru. Druhým problémem je i zajištění optimálního pH během procesu anaerobní digesce. V substrátu byla zjištěna vyšší koncentrace amonných iontů, které v alkalickém prostředí přechází na amoniak, který způsobuje inhibici anaerobní digesce. Dostupné zdroje uvádějí, že pH prostředí se mělo pohybovat v rozmezí 6,2 – 7,8, ale hodnoty se z neobjasněných důvodů pohybovaly kolem hranice 8,5.

6. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na zvýšení výtěžnosti metanu v bioplynu. Pro zvýšení výtěžnosti metanu jsem zvolil biochemickou metodu – využití enzymů, které produkují anaerobní houby rodu *anaeromyces mucronatus*. Tyto houby umožňují narušení lignocelulózových komplexů a vytváří tak pozice, které jsou přístupné pro metanogenní bakterie. Dochází tak k vyššímu využití špatně rozložitelných složek substrátu a tím i k vyšší výtěžnosti bioplynu.

Pro experimentální část práce byly získány vstupní substráty z BPS Velké Albrechtice, Klokočova a Stonava. Vstupní substráty se vzájemně lišily složením, substrát z BPS Stonava obsahoval vysoký podíl trávy, substráty z BPS V. Albrechtic a Klokočova obsahovaly kaly z Biocelu Paskov. Nejvyšší hodnotu CHSK (187,5 g/l) a tím i nejvyšší potenciál k tvorbě bioplynu vykazoval substrát z Albrechtic. V rámci laboratorních experimentálních výsledků se mi nepodařilo potvrdit zvýšení produkce bioplynu po přidavku anaerobních hub.

Na základě informací z BPS Stonava je známo, že produkce bioplynu se v roce 2010 pohybovala okolo 536 (dm³/1 kg sušiny). Z laboratorního testu v malém reaktoru vyplývá, že hodnota výtěžnosti byla menší, 408 (dm³/1 kg sušiny). Z těchto výsledků je zřejmé, že v laboratorních reaktorech nebyly pravděpodobně zajištěny optimální podmínky – došlo asi k vyššímu zatížení reaktoru a nebyla dostatečně optimalizovaná vsázka. Nižší produkce bioplynu než v technologických podmínkách mohla být ovlivněna následujícími faktory:

- Nevyhovující poměr celulózy/hemicelulózy ve vstupním substrátu. Pokud je poměr celulózy/hemicelulózy vyšší než poměr hemicelulózy/celulózy dochází ke snížení digestability hemicelulózy. Tato skutečnost je nesmírně důležitá pro předúpravu surovin pro anaerobní digestci. Vyrovnaný poměr H/C a C/H vykazoval substrát z Albrechtic, v substrátu z Klokočova a Stonavy je poměr H/C až 2.5 vyšší.

- Vyšší obsahy ligninu než 15 % mohou inhibovat anaerobní digesci. V substrátu z Klokočova byla zjištěna až dvojnásobně vyšší koncentrace.
- Vyšší hodnota pH (alkalická oblast) ve vstupních substrátech, která mohla způsobit, že amonné ionty se vyskytovaly ve formě amoniaku. Alkalické pH (> 8) není vhodné pro anaerobní houby.
- Pro verifikaci technologie jsem si měl připravit vlastní substrát, použít jen kejdu a přidat pravděpodobně jen jednu složku s lignocelulózovou strukturou obsaženou ve vstupních substrátech (např. trávy). Na jednodušším substrátu by změny v rozkladu byly lépe pozorovatelné a vyhodnotitelné.

Literatura

- [1] Statistická ročenka české republiky 2011. In: *Czso* [online]. 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/kapitola/0001-11-2010-1600>
- [2] Co je bioplyn. In: *Czba* [online]. 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/bioplyn/>
- [3] KAJAN, Miroslav. Výstavba a provoz bioplynových stanic: XI. ročník konference: 13. – 14. října 2011, Třeboň: Construction and operation of biogas plants. In: KAJAN, Miroslav. Třeboň: ČOV, 2011, s. 176. ISBN 978-80-260-0508-7.
- [4] Obnovitelné zdroje energie. In: *Alternativní zdroje energie* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
- [5] Úvod do zdroje energie. In: *Zdrojeenergie.blogspot* [online]. 2008 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://zdrojeenergie.blogspot.com/2008/09/uvod-do-zdroje-energie.html>
- [6] Obnovitelné zdroje energie. In: *EIS* [online]. 2006 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.eis.cz/problematika.php?klic=3/>
- [7] GABRIELOVÁ, Hana. Proč topit biomasou. In: *Ekoporadna* [online]. 2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=energie:proc_topit_biomassou
- [8] MUŽÍK, O., KÁRA, J. Rozvoj bioplynových technologií v podmínkách ČR. [Development of biogas technologies in conditions of the Czech Republic]. *Farmář*, 2009, roč. 15, č. 11, s. 15-29

- [9] SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: Teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- [10] Popis anaerobní technologie. In: *Bioplyn cs* [online]. 2009 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://bioplyn.cs.cz/popis_anaerobni_technologie
- [11] Systém suché bio fermentace. In: *Bioplyn-info.sk* [online]. 2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.bioplyn-info.sk/system-suche-bio-fermentace/>
- [12] ŽÍDEK, Michal. *Výzkum vhodných substrátů z hlediska intenzifikace procesu anaerobní digesce*. Ostrava, 2006. Disertační práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce Dagmar Juchelková
- [13] RACLAVSKÁ, Helena. *Technologie zpracování a využití kalů z ČVO*. Ostrava: VŠB - TUO, 2011. ISBN 978-80-248-1600-5.
- [14] STRAKA, František. AUTORSKÝ KOLETIV. *Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. II.rozšířené a doplněné vydání. Praha: GAS s.r.o, 2006. ISBN 80-7328-090-6.
- [15] DOHÁNYOS, Michal a KOLEKTIV. *Anaerobní cistírenské technologie*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000, 1998, s. 343.
- [16] BOND, Tom a Michael R. TEMPLETON. Energy for Sustainable Development: History and future of domestic biogas plants in the developing world. In: *Sciencedirect* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082611000780>

- [17] DELZEI, Ruth et al. Environmental Modelling & Software: Modelling regional input markets with numerous processing plants: The case of green maize for biogas production in Germany. In: *Sciencedirect* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211001976>
- [18] Téměř tisíc nových bioplynových stanic v Německu. In: *Biom* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/temer-tisic-novych-bioplynovych-stanic-v-nemecku>
- [19] LANTZ, Mikael et al. Energy Policy: The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden—Incentives, barriers and potentials. In: *Sciencedirect* [online]. 2006 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506002564>
- [20] SLEJŠKA, Antonín: Bioplynové zajímavosti z německy píšícího tisku. *Biom.cz* [online]. 2005-08-15 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-zajimavosti-z-nemecky-pisiciho-tisku>. ISSN: 1801-2655.
- [21] Bioplyn. In: *CNG* [online]. 2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-125/>
- [22] SLEJŠKA, Antonín: Vyčištěný bioplyn do rozvodné sítě pro zemní plyn. *Biom.cz* [online]. 2005-08-03 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vycisteny-bioplyn-do-rozvodne-site-pro-zemni-plyn>. ISSN: 1801-2655.
- [23] SLADKÝ, Václav: Farmářské bioplynové stanice v Rakousku. *Biom.cz* [online]. 2002-01-11 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/farmarske-bioplynove-stanice-v-rakousku>. ISSN: 1801-2655.

- [24] STÜRMER, B. et al Biomass and Bioenergy: Impacts of biogas plant performance factors on total substrate costs. In: *Sciencedirect* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410004885>
- [25] SIVEK, Martin et al. Energy Policy: Czech Republic and indicative targets of the European Union for electricity generation from renewable sources. In: *Sciencedirect* [online]. 2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512000808>
- [26] LEWANDOWSKI, I. et al Biomass and Bioenergy: The potential biomass for energy production in the Czech Republic. In: *Sciencedirect* [online]. 2006 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953405002023>
- [27] Bioplynové stanice (BPS) jako alternativní zdroj energie a jejich provoz z pohledu ČIŽP. In: *CIZP* [online]. 2008 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.cizp.cz/1246_Bioplynove-stanice-BPS-jako-alternativni-zdroj-energie-a-jejich-provoz-z-pohledu-CIZP
- [28] EnviWeb: *co je to bioplynová stanice* [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://www.enviweb.cz/page/co_je_to_bioplynka
- [29] KÁRA, J. A KOL.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT Praha, 2007, ISBN 978-80-86884-28-8
- [30] Technické a technologické požadavky na zařízení pro zpracování bioodpadů I. In: *Stredoceske-odpady* [online]. 2009 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.stredoceske-odpady.cz/?uzel=126>

- [31] KAJAN, Miroslav: Bioplyn z odpadů živočišné výroby. *Biom.cz* [online]. 2005-08-23 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby>>. ISSN: 1801-2655.
- [32] Technologie: Anaerobní fermentace. In: *Biomasa-info* [online]. 2009 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techfer.htm>
- [33] *Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung* [online]. 5.,vollständig überarbeitete Auflage. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2010, s. 54-55 [cit. 2012-04-11]. ISBN 3-00-014333-5.
- [34] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1999. ISBN 80-85895-23-4.
- [35] Odsíření bioplynu. In: *Motorgas* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.motorgas.cz/cz/vyrobky/odsireni-bioplynu/>
- [36] WILLEY, A.r. a D.a. WILLIAMS. Materiály ke studiu předmětu ČOVPE - část: "Omezování plynných emisí": biofilter layout. In: *Fs.cvut* [online]. 2001 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.fs.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/Covpe-3.htm>
- [37] Bioplyn - energie budoucnosti. In: *Anaerobic-digestion-advice* [online]. 2009 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.anaerobic-digestion-advice.com/attachments/BIOGAS%20NORD%20Broschuere%20tschechisch.pdf>
- [38] CENEK, M a kol.: *Obnovitelné zdroje energie*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha, FCC Public 2001 ISBN 80-901985-8-9
- [39] Energie biomasy. In: *ÚSTAV FYZIKY A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf

- [40] ŽÍDEK, Michal. Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru. In: *Oei.fme.vutbr* [online]. 2004 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/08-Zidek.pdf
- [41] MURTINGER, K a J BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Brno: era group spol.s.r.o, 2006. ISBN 80 -7366-071-7.
- [42] MURTINGER, K a J BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Brno: Computer Press, Eko watt, 2011. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [43] KARAFIÁT, Z a T VÍTĚZ. BIOGAS TRANSFORMATION OF LIQUID SUBSTRATES. In: *Mnet.mendelu* [online]. Brno, 2009 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: http://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech_karafiat.pdf
- [44] KOPPE, Klaus a Dagmar JUCHELKOVÁ. *Příručka Energie biomasy: rovnice, grafy a tabulky*. Ostrava: VŠB-TUO, 2011. ISBN 978-80-248-2457-4.
- [45] KÁRA, J. A KOL.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT Praha, 2007, ISBN 978-80-86884-28-8
- [46] MRKVICA, Michal. MendelNet2010: RESEARCH INTO THE USE OF BIODEGRADABLE WASTE. [online]. 2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://mnet.mendelu.cz/mendelnet2010/articles/17_mrkvica_310.pdf
- [47] KUŽEL, Stanislav. Jak efektivně využít digestát?. In: *Energie21* [online]. 2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Jak-efektivne-vyuzit-digestat__s303x46878.html
- [48] VÁŇA, Jaroslav: Využití digestátů jako organického hnojiva. *Biom.cz* [online]. 2007-04-25 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

- [49] ŠAFAŘÍK, Miroslav: Bioplynové stanice – podmínky a možnosti využití tepla. *Biom.cz* [online]. 2012-03-13 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>>. ISSN: 1801-2655.
- [50] CONVERTI, A. et al. Anaerobic digestion of the vegetable fraction of municipal refuses: mesophilic versus thermophilic conditions. *Bioprocess and Biosystems Engineering* [online]. 1999, vol. 21, no. 4 [cit.2012-04-01]. ISSN 1615-7605. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/cptryrlfa86lk3f/>
- [51] KOMILIS, Dimitris P., Robert K. HAM. The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste Management* [online]. 2003, vol. 23, issue 5 [cit.2012-04-01]. ISSN: 0956-053X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0300062X>
- [52] VACKOVÁ, Kateřina. *Gelové soustavy nitrocelulóz*. Zlín, 2010. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14318/vackov%C3%A1_2010_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. ÚTB ve Zlíně. Vedoucí práce Lubomír Lapčík
- [53] KUCHAROVÁ, Jana. *Význam vlastností fytoenergetických travin využitelných pro anaerobní digesci*. ostrava, 2007. Disertační práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce Dagmar Juchelková
- [54] Chemie Grundkurs 12. Klasse: Cellulose. In: *Marcos internetaufriit* [online]. 2001 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://uni-ka.the-jens.de/html/chemieklasse12/cellulose/cellulose.htm>
- [55] JANKOVSKÝ, M. et al *Chemie dřeva*. Praha: AF a LF ČZU, 1999. ISBN 80-213-0559-2.
- [56] The Plant Cell is Special: The Cell Wall. In: *Bio.miam* [online]. 2009 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F09_3.html

- [57] LJUNGDAHL, Lars G. The Cellulase/Hemicellulase System of the Anaerobic Fungus *Orpinomyces* PC-2 and Aspects of Its Applied Use. *Annals of the New York Academy of Sciences* [online]. New York Academy of Sciences. 26 March 2008, vol. 1125 [cit. 13.6.2011]. ISSN 174-6632. Dostupné prostřednictvím Willey online library z doi: 10.1196/annals.1419.030
- [58] BRETON, A. et al *Anaeromyces mucronatus* nov. gen., nov. sp. A new strictly anaerobic rumen fungus with polycentric thallus. In: *PubMed* [online]. 1990 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2227353>
- [59] ZÁBRANSKÁ, Jana: Intenzifikace výroby bioplynu z rostlinných materiálů. *Biom.cz* [online]. 2010-10-18 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/intenzifikace-vyroby-bioplynu-z-rostlinnych-materialu>>. ISSN: 1801-2655.
- [60] BAUCHOP, T. et al Agriculture and Environment: The anaerobic fungi in rumen fibre digestion. In: *ScienceDirect* [online]. 1981 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304113181900217>
- [61] NOVOTNÁ, Z. et al Xylanases of anaerobic fungus *Anaeromyces mucronatus*. In: *PubMed* [online]. 2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20680572>
- [62] KOPEČNÝ, J. Akademie věd české republiky: Anaerobní houby u přežvýkavců. In: *CAS* [online]. 2009 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://www.cas.cz/o_avcr/zakladni_informace/dokumenty/anotace/2004/5_sekce_biologickych_a_lekarskych_ved.html

- [63] PEŠKOVÁ, Karolína. Ciselniky.dasta.mzcr.cz - /hypertext/200620/hypertext/treonin. In: *Datový standard MZ ČR: Webové služby pro distribuci číselníků datového standardu, DTD a schemat* [online]. 2008 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/hypertext/200620/hypertext/BOKPAAG.htm>
- [64] B U L Í Ř, Pavel a Martin D U B S K Ý. VLIV MODERNÍCH CHEMICKÝCH PREPARÁTŮ BIO-ALGEEN A TERRACOTTEM NA PROSPERITU OKRASNÝCH DŘEVIN. In: *Mzp* [online]. 1998 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/39e89313fda7ca78802567f8005b0f52?OpenDocument>

Seznam použitých obrázků

Obr. č. 2.1 – bioplynové technologie [9]	7
Obr. č. 3.1 – schéma bioplynové stanice	16
Obr. č. 3.2 – horizontální reaktor [33]	18
Obr. č. 3.3 – vertikální reaktor [33]	19
Obr. č. 3.4 – schéma kogenerační jednotky [10]	21
Obr. č. 3.5 – schéma biofiltru [36].....	22
Obr. č. 4.1 – fáze vzniku bioplynu [44]	26
Obr. č. 5.1 – celulóza [54]	32
Obr. č. 5.2 – hemicelulóza [56]	33
Obr. č. 5.3 – anaerobní houby(<i>anaeromyces mucronatus</i>) [62]	35
Obr. č. 5.4 – vzorky anaerobních hub (KF8)	35
Obr. č. 5.5 – vzorky anaerobních hub (KF8) v převozním boxu	36
Obr. č. 5.6 – příprava vsazky do malého reaktoru	39
Obr. č. 5.7 – zjednodušené schéma laboratorního reaktoru.....	40
Obr. č. 5.8 – reaktor č. 1 (DCU 300) + řídicí jednotka.....	41
Obr. č. 5.9 – reaktor č. 2 (Sartorius Biostat) + řídicí jednotka	41
Obr. č. 5.10 – zjednodušené schéma laboratorního plynojemu	42
Obr. č. 5.11 – laboratorní plynojem.....	42

Obr. č. 5.12 – malý reaktor s magnety na magnetickém míchadle	46
Obr. č. 5.13 – zjednodušené schéma malého reaktoru.....	47
Obr. č. 5.14 – měření objemu plynu pomocí průtokového měřiče	47

Seznam použitých tabulek

Tab. č. 2.1 – parametry sledované během anaerobní digesce[12]	9
Tab. č. 5.1 – technologické parametry testu anaerobní digesce pro vsazku V.albrechtic.....	43
Tab. č. 5.2 – technologické parametry testu anaerobní digesce pro vsazku Klokočov	44
Tab. č. 5.3 – výsledky produkce BP v malých reaktorech - vsazka V.Albrechtic.....	45
Tab. č. 5.4 – výsledky produkce BP v malých reaktorech- vsazka Klokočova.....	45
Tab. č. 5.5 – výsledky produkce BP v malých reaktorech- vsazka Stonava	46
Tab. č. 5.6 – přepočtový koeficient jednotek mezi CH ₄ a CHSK [15]	49
Tab. č. 5.7 – analýza vstupních substrátů z jednotlivých BPS	51
Tab. č. 5.8 – výsledky chemické analýzy pro ukončení anaerobní digesce - malé reaktory	54
Tab. č. 5.9 – výstupní hodnoty z malých reaktorů.....	55
Tab. č. 5.10 – výstupní hodnoty z velkých reaktorů.....	57
Tab. č. 5.11 – výstupní hodnoty z velkých reaktorů.....	58
Tab. č. 5.12 – naměřené hodnoty BP z produkce anaerobní digesce ze vsazek BPS	61
Tab. č. 5.13 – hodnoty naměřené pro výpočet produkce CH ₄ na základě spotřeby substrátu..	63
Tab. č. 5.14 – hodnoty naměřené pro výpočet objemu CO ₂ na základě spotřeby substrátu.....	64
Tab. č. 5.15 – hodnoty objemu BP vyprodukovaných z velkých reaktorů.....	66

Seznam použitých grafů

graf č. 1.1 – procentuální zastoupení bioplynu v OZE[1,2]	1
graf č. 5.1 – složení vsazky v reaktoru Klokočov.....	37
graf č. 5.2 – složení vsazky v reaktoru Velké Albrechtice (odpadní složky)	38
graf č. 5.3 – složení vsazky v reaktoru Velké Albrechtice (biomasa a aktivátory)	38
graf č. 5.4 – teoretická produkce metanu z vsazek BPS	52
graf č. 5.5 – produkce metanu přepočten na 1kg sušiny	53
graf č. 5.6 – produkce metanu v BP.....	53
graf č. 5.7 – spotřebované CHSK / TOC v % (malé reaktory)	55
graf č. 5.8 – spotřebované CHSK g/l.....	56
graf č. 5.9 – spotřebované CHSK / TOC / sušina	59
graf č. 5.10 – spotřebované majoritní složky (v reaktorech)	60
graf č. 5.11 – kumulativní křivka produkce bioplynu.....	61
graf č. 5.12 – časový průběh produkce BP v malých reaktorech.....	62
graf č. 5.13 – hodnoty naměřené pro výpočet metanu na základě spotřeby substrátu.....	63
graf č. 5.14 – hodnoty naměřené pro výpočet objemu CO ₂ na základě spotřeby substrátu	64
graf č. 5.15 – množství produktivního BP a CH ₄ (malé reaktory).....	65
graf č. 5.16 – srovnání množství produktivního BP a CH ₄ pro substrát z BPS albrechtic (v malém a velkém reaktoru)	65

graf č. 5.17 – kumulativní křivka produkce BP z vsazky Velkých Albrechtic (velký reaktor)	67
graf č. 5.18 – hodnoty BP a hodnoty produkce CH ₄ (malé reaktory).....	67

Seznam použitých příloh

Seznam bioodpadů a požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání bioodpadů

A. Seznam využitelných bioodpadů

Zvláštní způsoby nakládání	Druhy odpadů podle Katalogu odpadů ²⁾	
	02	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a výroby a zpracování potravin
	02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
	02 01 01	Kaly z praní a z čištění
	02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
1	02 01 06	Zvířecí trus, moč a hnůj (včetně znečištěné slámy), kapalné odpady, soustředěné oddělené a zpracovávané mimo místo vzniku
	02 01 07	Odpady z lesnictví
1	02 02	Odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
1	02 02 01	Kaly z praní a z čištění
1	02 02 03	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
1	02 02 04	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	02 03	Odpady z výroby a ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, kakaa, kávy a tabáku; odpady z konzervářského a tabákového průmyslu z výroby droždí a kvasničného extraktu, z přípravy a kvašení melasy
	02 03 01	Kaly z praní, čištění, loupání, odstředování a separace
3	02 03 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
	02 03 99	Odpady jinak blíže neurčené
	02 03 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	02 04	Odpady z výroby cukru
	02 04 01	Zemina z čištění a praní řepy
	02 04 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	02 05	Odpady z mlékářského průmyslu
1	02 05 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
	02 05 02	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	02 06	Odpady z pekáren a výroby cukrovinek
3	02 06 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
	02 06 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku

²⁾ Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů), ve znění pozdějších předpisů.

Zvláštní způsoby nakládání	Druhy odpadů podle Katalogu odpadů ²⁾	
	02 07	Odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů (s výjimkou kávy, čaje a kakaa)
	02 07 01	Odpad z praní, čištění a mechanického zpracování surovin
	02 07 02	Odpad z destilace lihovin
3	02 07 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
	02 07 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	03	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
	03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
	03 01 01	Odpadní kůra a korek
	03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dřevotřískové desky a dýhy, neuvedené pod číslem 03 01 04
	03 03	Odpad z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
	03 03 01	Odpadní kůra a dřevo
	03 03 07	Mechanicky oddělený výmět z rozvláknování odpadního papíru a lepenky
	03 03 08	Odpady ze třídění papíru a lepenky určené k recyklaci
	03 03 09	Odpadní kaustifikační kal
	03 03 10	Výmětová vlákna, kaly z mechanického oddělování obsahující vlákna, výplně povrchové vrstvy z mechanického třídění
	03 03 11	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku neuvedené pod číslem 03 03 10
	04	Odpady z kožedělného, kožedělnického a textilního průmyslu
	04 01	Odpady z kožedělného a kožedělnického průmyslu
1	04 01 01	Odpadní kůže a střípenka
	04 01 07	Kaly neobsahující chrom, zejména kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
	04 02	Odpady z textilního průmyslu s výjimkou textilií ze syntetických vláken
	04 02 10	Organické hmoty z přírodních produktů (např. tuk, vosk)
	04 02 20	Ostatní kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku neuvedené pod 04 02 19
	04 02 21	Odpady z nezpracovaných textilních vláken
	04 02 22	Odpady ze zpracovaných textilních vláken
	15	Odpadní obaly; absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené
	15 01	Obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu)
	15 01 01	Papírové a lepenkové obaly
	15 01 03	Dřevěné obaly
	16	Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
	16 03	Vadné šarže a nepoužité výrobky

Zvláštní způsoby nakládání	Druhy odpadů podle Katalogu odpadů ²⁾	
	16 03 06	Organické odpady neuvedené pod číslem 16 03 05
	17	Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)
	17 02	Dřevo, sklo a plasty
	17 02 01	Dřevo
	19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistění odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
	19 05	Odpady z aerobního zpracování pevných odpadů
	19 05 03	Kompost nevyhovující jakosti
	19 06	Odpady z anaerobního zpracování odpadu
	19 06 03	Extrakty z anaerobního zpracování komunálního odpadu
	19 06 04	Produkty vyhnívání z anaerobního zpracování komunálního odpadu
	19 06 05	Extrakty z anaerobního zpracování odpadů živočišného a rostlinného původu
	19 06 06	Produkty vyhnívání z anaerobního zpracování živočišného a rostlinného odpadu
	19 08	Odpady z čistění odpadních vod jinde neuvedené
2	19 08 05	Kaly z čistění komunálních odpadních vod
1	19 08 09	Směs tuků a olejů z odlučovačů tuků obsahujících pouze jedlé oleje a jedlé tuky
	19 08 12	Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 11
	19 08 14	Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 13
	19 09	Odpady z výroby vody pro spotřebu lidí nebo vody pro průmyslové účely
2	19 09 01	Pevné odpady z primárního čištění (z česlí a filtrů)
	19 09 02	Kaly z čištění vody
	19 09 03	Kaly z dekarbonizace
	19 12	Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drcení, lisování, peletizace)
	19 12 01	Papír a lepenka
	19 12 07	Dřevo neuvedené pod číslem 19 12 06
	20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů), včetně složek z odděleného sběru
	20 01	Složky z odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01)
	20 01 01	Papír a lepenka, s výjimkou papíru s vysokým leskem a odpadu z tapet
1	20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
	20 01 10	Oděvy
	20 01 11	Textilní materiály
1	20 01 25	Jedlý olej a tuk

Zvláštní způsoby nakládání	Druhy odpadů podle Katalogu odpadů ²¹	
	20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37
	20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
	20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
	20 03	Ostatní komunální odpady
	20 03 02	Odpad z tržišť
2	20 03 04	Kal ze septiků a žump
	20 03 07	Objemný odpad

Poznámky k A. Seznamu vyřizitelných odpadů:

1 - podléhají souhlasu a kontrole Krajské veterinární správy podle jiného právního předpisu²¹

2 - podléhají kontrole podle tabulky č. 5.4, přílohy č. 5 k této vyhlášce.

3 - určité znečisťující potraviny – výběr znečisťujících potravin podle Nařízení Komise (ES) ze dne 3. února 2006 č. 197/2006 Sb., neživočišného původu nebo neobsahující produkty živočišného původu jako například pečivo, těstoviny, cukrářské výrobky a podobné výrobky, které z obchodních důvodů, z důvodu závady při výrobě, balení nebo jiné závady nepředstavují nebezpečí pro zdraví lidí nebo zvířat a nejsou již určeny k lidské spotřebě a zbavené obalů mohou být zpracovány v zařízeních na výrobu bioplynu nebo kompostování, která nepodléhají schválení Krajské veterinární správy ani její kontrole.

B. Seznam bioodpadů využitelných v malém zařízení

Druhy odpadů podle Katalogu odpadů³⁾	
02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
02 01 03	Odpad z rostlinných pletiv
20 01	Komunální odpady – složky z odděleného sběru
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
20 03	Ostatní komunální odpady
20 03 02	Odpad z tržišť